



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

DISEÑO E IMPLEMENTANCION DE UNA RED CWDM PARA EL MONITOREO DE SERVICIOS

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERO EN REDES

PRESENTA

MARCO ANTONIO SOTO HERNANDEZ

DIRECTOR DE TESIS

HOMERO TORAL CRUZ

ASESORES

JULIO CESAR RAMÍREZ PACHECO
DAVID ERNESTO TRONCOSO ROMERO
ISMAEL OSUNA GALÁN
JOSÉ ANTONIO LEÓN BORGES



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2022.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE QUINTANA ROO

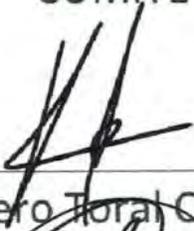
DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

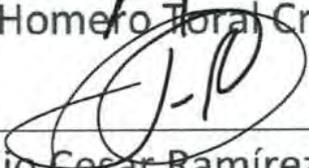
TESIS ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE
TESIS DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADA
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERÍA EN REDES

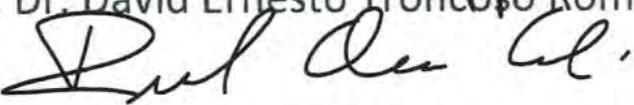


COMITÉ DE TESIS


DIRECTOR: Dr. Homero Toral Cruz


ASESOR: Dr. Julio Cesar Ramirez Pacheco


ASESOR: Dr. David Ernesto Troncoso Romero


ASESOR: Dr. Ismael Osuna Galán


ASESOR: Dr. José Antonio León Borges



Tabla de contenido

TABLA DE ILUSTRACIONES	5
LISTA DE TABLAS	7
LISTA DE ACRÓNIMOS	8
RESUMEN.....	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	13
1.1- Planteamiento del problema.....	13
1.2- Trabajos relacionados.....	14
1.3- Objetivos.....	16
1.3-1. Objetivo General.....	16
1.3-2. Objetivos Específicos	16
1.4- Justificación	16
1.5- Estructura de la tesis	17
CAPÍTULO II. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE FIBRAS ÓPTICAS.....	19
2.1- Fibra óptica.....	19
2.2- Tipos de fibra óptica.....	20
2.3- Fibra monomodo.....	20
2.4- Fibra multimodo.....	21
2.5- Ventajas y desventajas de la fibra óptica	22
2.6- Modo de propagación	23
2.7- Conceptos básicos.....	25
2.7-1. Reflexión total	25
2.7-2. Índice de refracción	25
2.7-3. Longitud de onda	26
2.7-4. Ancho de banda.....	28
2.8- Factores que dificultan la transmisión en la fibra óptica	28
2.8-1. Atenuación	28
2.8-2. Dispersión	30
2.8-2.1. Dispersión cromática	30
2.8-2.2. Dispersión en modo polarizado.....	30
2.9- Elementos en un sistema de comunicación por fibra óptica.....	31
2.9-1. Fuentes de luz y detectores.....	31
2.9-2. Emisores de luz - Leds y láseres	32
2.9-2.1. Diferencia entre LED's y láseres	32
2.9-3. Fotodetectores	33
2.9-3.1. Foto diodo PIN.....	33

2.9-3.2.	Fotodiodo de avalancha	34
2.9-4.	Amplificadores ópticos	35
2.9-4.1.	Amplificadores de fibra óptica dopado con erbio	35
2.10-	Técnicas de empalme de fibra óptica	36
2.10-1.	Empalme por fusión	36
2.10-2.	Empalmes mecánicos	39
2.10-3.	Conectores mecánicos	40
2.10-3.1.	Conectores de fibra LC.....	40
2.10-3.2.	Conectores de fibra SC	41
2.10-3.3.	Conectores de fibra MU.....	42
2.10-3.4.	Conectores de fibra ST.....	42
2.10-3.5.	Conectores de fibra FC	43
2.10-4.	Pulido de férula en las fibras ópticas	44
2.10-4.1.	Pulido de férula PC.....	45
2.10-4.2.	Pulido de férula UPC	46
2.10-4.3.	Pulido de férula APC	46
CAPITULO III. SISTEMAS DE MULTIPLEXACIÓN		48
3.1-	Sistemas tradicionales	48
3.1-1.	Definición	48
3.2-	Tecnología WDM	49
3.3-	Multiplexores	50
3.4-	Demultiplexores	51
3.5-	Técnicas de multiplexión y demultiplexión	51
3.5-1.	Multiplexadores ópticos ADD/DROP	51
CAPITULO IV. TECNOLOGÍA CWDM		53
4.1-	CWDM	53
4.2-	Interfaces ópticas en CWDM según Recomendación ITU–G.695	55
4.3-	Detectores para CWDM	55
4.4-	Transceivers para CWDM	56
4.4-1.	Funciones de transceiver SFP	57
4.5-	Instrumentos de medición	58
4.5-1.	Medidor de potencia óptica	58
4.5-2.	Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo	59
4.5-2.1.	Tipos de OTDR.....	60
4.5-2.2.	Especificaciones funcionales.....	61
4.5-2.3.	Funciones de un OTDR.....	61
CAPÍTULO V. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTO		62
5.1-	Diseño del enlace	62
5.1-1.	Dispositivos	63
5.1-2.	Materiales para enlace	66
5.2-	Implementación	68

5.2-1.	Tendido de fibra óptica	68
5.2-2.	Instalación de demultiplexor	71
5.2-3.	Validación de potencia.....	72
5.2-4.	Configuración de demarcadores	72
5.2-4.1.	Configuración del demarcador Raisecom, de la serie RAX700	73
5.2-5.	Pruebas de conectividad.....	77
CAPITULO VI. CONCLUSIÓN.....		82
BIBLIOGRAFÍA.....		83

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Fibra óptica	20
Ilustración 2 Hilos de la fibra óptica	20
Ilustración 3 Fibra monomodo	21
Ilustración 4 Fibra multimodo.....	22
Ilustración 5 Modos de propagación.....	24
Ilustración 6 Reflexión de la luz.....	25
Ilustración 7 Rayo de luz refractado	26
Ilustración 8 Longitud de onda	27
Ilustración 9 Atenuación causada por la dispersión y la absorción.....	27
Ilustración 10 Elementos de un sistema de comunicación por fibra óptica.....	31
Ilustración 11 Esquema EDFA	36
Ilustración 12 Empalme por fusión	38
Ilustración 13 Fusión de la fibra	38
Ilustración 14 Conector mecánico.....	40
Ilustración 15 Conector LC.....	41
Ilustración 16 Conector SC	41
Ilustración 17 Conector MU	42
Ilustración 18 Conector ST.....	43
Ilustración 19 Conector FC	44
Ilustración 20 Pulido de férula de la fibra.....	45
Ilustración 21 Pulido de férula PC.....	45
Ilustración 22 Pulido de férula UPC.....	46
Ilustración 23 Pulido de férula APC.....	47
Ilustración 24 MUX/DEMUX.....	51
Ilustración 25 Espaciamiento entre canales.....	54
Ilustración 26 CWDM MUX/DEMUX de 16 canales.....	57
Ilustración 27 Transceiver SFP	57
Ilustración 28 Power meter	59
Ilustración 29 OTDR.....	60
Ilustración 30 Enlace del SITE a oficina	62
Ilustración 31 Diagrama de conexión de la red CWDM	63

Ilustración 32 Demarcador Raisecom instalado en rack de oficinas.....	63
Ilustración 33 Demarcador Raisecom instalado en NOC/site principal	64
Ilustración 34 multiplexor del NOC	64
Ilustración 35 Dispositivo OADM CWDM con 8 longitudes de onda en caja de empalme. 65	
Ilustración 36 Dispositivo OADM CWDM con 8 longitudes de onda en caja de empalme (vista 2).....	65
Ilustración 37 SFP CWDM conectado al demarcador	66
Ilustración 38 Vista de un corte de fibra óptica.....	66
Ilustración 39 Jumper LC/UPC-SC/UPC	67
Ilustración 40 Roseta conectada con el jumper.....	67
Ilustración 41 Caja de empalme y derivación óptica.....	68
Ilustración 42 Colocación de cajas de empalme	69
Ilustración 43 Flejando la fibra.....	70
Ilustración 44 Fibra optica ya colocada.....	70
Ilustración 45 DEMUX colocado en caja de derivación.....	71
Ilustración 46 Lectura de OTDR.....	72
Ilustración 47 Ping a IP principal.....	77
Ilustración 48 Traza de OTDR validando la distancia y ausencia de pérdidas	78
Ilustración 49 Acceso a Radius	79
Ilustración 50 Plataforma SOFTV	79
Ilustración 51 Plataforma de Almacén	80
Ilustración 52 Gráfica de consumo de datos.....	80
Ilustración 53 PRTG network monitor	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de atenuación y ancho de banda.....	29
Tabla 2 Comparación entre Foto diodo PIN y APD	34
Tabla 3 Longitudes de onda centrales nominales.....	54

LISTA DE ACRÓNIMOS

APC: Angled Physical Contact

APF: Avalancha Photodiode

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing

dB: Decibeles

DCM: Dispersion Compensation Module

DFB: Distributed Feedback

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing

EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier

FC: Ferrule Connector

FDM: Frecuency Division Multiplexing

FO: Fiber Optic

FTTH: Fiber to The Home

Gbps: Gigabit por Segundo

GHz: Giga Hertz

GPON: Gigabit Passive Optical Network

ISP: Internet Provider Service

ITU: International Telecommunication Union

LC: Lucent Connector

LED: Light-Emitting Diodes

MAN: Metropolitan Area Network

MU: Miniature Unit

NOC: Network Operation Center

OA: Optical Amplifier

OADM: Optical Add and Drop Multiplexer

OEO: Optical - Electric -Optical

ONU: Optical Network Unit

OPM: Optical Power Meter

OTDR: Optical Time Domain Reflectometer

PC: Physical Contact

PIN: Positive-Intrinsic-Negative

PMD: Dispersion Mode Polarized

SC: Standard Connector

SFP: Small Form-Factor Pluggable

ST: Straight Tip

STDM: Statistical Time Division Multiplexing

TDM: Time Division Multiplexing

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

UPC: Ultra Physical Contact

UV: UltraVioleta

VPN: Virtual Private Network

WDM: Wavelength Division Multiplexing

RESUMEN

La creciente demanda de ancho de banda en las telecomunicaciones ha provocado que los proveedores de servicio de Internet busquen alternativa para satisfacer las necesidades de sus clientes. Pequeñas, medianas o grandes empresas recurren al servicio de Internet por medio de fibra óptica, por ser una tecnología más estable con respecto a los tradicionales medios de transmisión basados en cables de cobre.

La fibra óptica ha estado presente desde hace mucho tiempo; sin embargo, en nuestra región apenas está tomando impulso dentro de las telecomunicaciones. La fibra óptica es un medio más confiable, ya que sus componentes no generan campos electromagnéticos, lo cual reduce el margen de fallas por interferencias. Cabe mencionar que la fibra óptica requiere de personal técnico especializado en el proceso de instalación para lograr que los servicios fluyan de forma satisfactoria.

Para cubrir las necesidades y demandas de los clientes, es necesario buscar nuevas y mejores alternativas de enlaces, con el fin de garantizar una transmisión rápida, eficiente y fiable con el menor costo posible. En una red metropolitana los proveedores y clientes especiales que requieren un servicio exclusivo no siempre estarán a distancias cortas, por lo general, siempre estarán a kilómetros de separación. Típicamente, existen tres métodos para ampliar la capacidad: instalar más cables, aumentar la tasa de bits del sistema para multiplexar más señales y multiplexar por división de longitud de onda. En general, muchos proveedores recurren a este último método de multiplexación por longitud de onda o WDM (Wavelength Division Multiplexing).

En un contexto en el cual se requiere enlaces de ciudad a ciudad, donde, el enlace tiene más de 50km, lo ideal es implementar tecnología de multiplexación, uno de los más usados actualmente es DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), el cual es una tecnología WDM (Wavelength Division Multiplexing) con mayor uso en el medio de los enlaces por medio de fibra óptica.

La tecnología WDM, consiste en emitir varias señales independientes sobre un único hilo de fibra óptica, consiguiendo aumentar drásticamente la capacidad de la red de fibra. Esto se consigue mediante portadoras ópticas de diferentes longitudes

de onda. La fibra óptica emite los datos a través de una señal óptica de luz; pues las portadoras, pueden dividir la luz en diferentes longitudes de onda, y emitir una señal diferente por cada división. Por lo tanto, se reconoce como la tecnología de transporte de Capa 1 en todos los niveles de la red.

Para llevar esto a cabo, un sistema WDM, requiere de un multiplexor en el transmisor, y un demultiplexor en el receptor, para separarlas. Hay dispositivos que hacen ambas cosas simultáneamente, se les conoce como add drop multiplexor, o multiplexor de gota.

Los sistemas WDM se dividen en diferentes patrones de longitud de onda: CWDM (multiplexación por división de longitud de onda gruesa) y DWDM (multiplexación por división de longitud de onda densa).

CWDM se usa para comunicaciones de corto alcance (aproximadamente 50km) y por eso emplea un amplio rango de frecuencias con longitudes de onda muy distanciadas entre sí. El espaciado de canales normalizado permite la variación de la longitud de onda que se produce cuando los láseres se calientan y enfrían durante el funcionamiento. CWDM es una opción compacta y económica cuando la eficiencia espectral no es un requerimiento importante. No se suele usar amplificadores ópticos en CWDM y la dispersión cromática no afecta en gran medida por lo que no es necesario el uso de módulos de compensación de dispersión (Dispersion Compensation Module- DCM). Estos sistemas al ser más sencillos los convierten en sistemas de bajo costo, los cuales pueden ser interesantes en entornos o escenarios donde se requiera poca capacidad y la distancia sea relativamente pequeña, como lo es el caso del presente proyecto.

DWDM tiene capacidades y anchos de banda mayores que CWDM ya que el espaciado entre longitudes de onda es más pequeño, al espaciar menos las longitudes de onda, puede acomodar más canales en una sola fibra, pero su implementación y operación son más costosas. DWDM es para sistemas con más de ocho longitudes de onda activas por cada fibra. DWDM divide el espectro en pequeñas partes, colocando más de 40 canales en el rango de frecuencia de banda C.

DWDM principalmente se utiliza en enlaces desde el ISP (Internet Provider Service) hacia el distribuidor final, ya que estos enlaces tendrían un mínimo de 50km de distancia hasta más de 100km. Por tanto, es necesaria esta tecnología para enlaces de larga distancia.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1- Planteamiento del problema

Actualmente la demanda del servicio de Internet está en constante crecimiento, de tal manera que los proveedores de servicios deben recurrir a nuevas técnicas y tecnologías para incrementar el ancho de banda y distribuir a un número mayor de clientes, manteniendo un equilibrio entre los costos del servicio y la inversión de nuevas tecnologías.

La fibra óptica es una de la tecnología de transmisión que han revolucionado las telecomunicaciones, la cual permite transmitir grandes cantidades de información a altas velocidades y largas distancias. Una técnica utilizada para incrementar la capacidad es mediante la multiplexación por división de longitud de onda (WDM). WDM se ha utilizado en sistemas de telecomunicaciones de larga distancia para multiplicar la capacidad de transmisión de una fibra óptica enviando señales simultáneamente en múltiples longitudes de onda. Esta técnica consiste en enviar múltiples colores de luz por una sola fibra. Cada color es un canal portador de señal separado. Por lo tanto, si una fibra que usa un color de luz puede transportar una cierta cantidad de datos, esa misma fibra si usa ocho colores de luz puede transportar ocho veces más datos. Algunos sistemas de telecomunicaciones pueden colocar 80 o más colores de luz en una sola fibra. Dos variantes de la técnica WDM son la multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) y Multiplexación por división de longitud de onda gruesa (CWDM).

Los sistemas CWDM se diseñaron como una solución de bajo costo en redes de área metropolitana donde se espera que el cliente pague por servicios de banda ancha a un precio asequible. Las fuentes láser desplegadas en dichos sistemas no se enfrían térmicamente, por lo que se permite que la longitud de onda de emisión se desvíe dentro de $\pm 6,5$ nm alrededor de la longitud de onda central nominal. Por el contrario, los sistemas DWDM necesitan fuentes láser muy estables y, por lo tanto, el costo de estos sistemas es de cuatro a cinco veces mayor que sus contrapartes CWDM.

En las redes CWDM, los canales están separados por 20 nm, en contraste con los sistemas DWDM donde los canales están separados por solo 0,1 nm.

En el presente proyecto de tesis se realizará el diseño e implementación de una red CWDM que permita la interconexión entre la red Metro Ethernet de la empresa de telecomunicaciones QualiDigital y un punto de acceso situado a 2 km de distancia, para el monitoreo de una red óptica pasiva con capacidad de Gigabit (GPON), servicios de Internet y fibra hasta la casa o fibra hasta el hogar (FTTH). En el proceso de implementación se utilizará cable de fibra óptica de 12 hilos monomodo, multiplexores ópticos add-drop (OADM), Transceptores SFP CWDM y dos dispositivos de demarcación Raisecom.

1.2- Trabajos relacionados

La tecnología CWDM no es del todo nueva en el mundo de las telecomunicaciones con fibra óptica, pues cabe mencionar que existen una gran variedad de investigaciones, estudios e implementaciones de esta tecnología de multiplexación, e incluso en diferentes países.

De los casos de estudios ya realizados por tesis, encontramos los siguientes trabajos de investigación:

- “CWDM TECNOLOGÍA Y APLICACIONES”, tesis presentada por Jorge Alejandro Meza Morales, para obtener el grado de Ingeniero Electrónico, de la universidad de san Carlos de Guatemala, en 2009. En el cual tiene como objetivo general; “Plantear una mejora por medio del estudio de la tecnología CWDM para su utilización en las comunicaciones involucradas con los servicios y aplicaciones de las empresas” (Morales, 2009). Este trabajo se basa en las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T).
- “ESTUDIO DE LA RED ÓPTICA CWDM (COARSE WAVELENGTH DIVISIÓN MULTIPLEXING) Y PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE DISEÑO”, tesis presentada por Ramiro Wilmer Cadena Sánchez, para

obtener el grado de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, de la Escuela de Ingeniería de Quito, Ecuador en 2005. Esta investigación tiene como objetivo, "Investigar una nueva forma de transportar la información de una manera rápida y a menor costo, debido al incremento en las telecomunicaciones, específicamente en el área de voz y datos" (Sanchez, 2005).

- "SISTEMAS DE COMUNICACION A TRAVESDE FIBRAS OPTICAS", trabajo de tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Electrónica, presentada por el Ing. Leopoldo Rene Villarreal Jiménez, de la Universidad Autónoma de Nuevo León, facultad de ingeniería mecánica y eléctrica de la división de estudios de postgrado. Donde se plasman las investigaciones de la fibra óptica como medio de enlaces y todos los elementos que conlleva la interconexión, desde los dispositivos físicos hasta los cálculos con las fórmulas para determinar las atenuaciones, potencias (dB) de la fibra óptica.
- "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN CON TECNOLOGÍA CWDM PARA INTERCONECTAR SERVICIOS DE DOS CENTROS DE DATOS DEL REGISTRO NACIONAL DE IDENTIFICACIÓN Y ESTADO CIVIL". Trabajo de investigación para obtener el título de Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones, presentado por Bruce Dan Retes Iquise, en Lima, Perú en 2014, de la UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DEL CONO SUR DE LIMA (UNTECS). Investigación que se implementa con el objetivo de interconectar dos sitios con la infraestructura de red óptica existente, donde se migraría a CWDM para mejor ancho de banda y mejor gestión de los servicios.

Como estos proyectos de investigaciones podemos observar la tendencia de CWDM en las telecomunicaciones, ya que nace de la necesidad de aumentar el ancho de banda de los enlaces metropolitanos y con la tecnología DWDM resulta demasiado costoso. Por tanto, CWDM es la mejor opción para ser usada en comunicaciones ópticas de menos de 50km.

1.3- Objetivos

1.3-1. Objetivo General

Diseñar e implementar una red CWDM para el monitoreo de una red GPON, servicios de Internet y FTTH.

1.3-2. Objetivos Específicos

- Seleccionar el tipo de fibra óptica, multiplexores ópticos, transceptores, y dispositivos de demarcación.
- Interconectar y configurar los equipos ópticos de la red CWDM.
- Diseñar a nivel de potencia, para garantizar la potencia óptica en cada uno de los nodos.
- Diseñar a nivel de ancho de banda, para garantizar la distancia máxima de transmisión.
- Diseñar a nivel de ruido, para asegurar que la relación señal a ruido sea la adecuada.

1.4- Justificación

El presente proyecto se enfocará en la interconexión de dos sitios dentro de una red metro Ethernet para monitoreo de los servicios de red FTTH través de una red GPON con la tecnología CWDM ya que al tener un alcance de hasta 50km, es ideal para las redes metropolitanas, no solo se utiliza para entregar a clientes finales, también podemos implementar para conectar de “*site to site*” con la finalidad de mantener la red LAN en las diferentes locaciones.

Tener la gestión y control de una red al alcance, es una necesidad como administradores de redes. De los aspectos más destacados para el proyecto es tener el acceso a la red principal, a cada uno de los servicios del usuario final, tener el alcance a las plataformas de gestión de almacén, administración de cobro,

gestión de ERP, entre muchas otras plataformas que se utilizan día con día para la administración de la red en general.

Con CWDM se pretende interconectar el NOC (Network Operation Center) con la oficina de administración, con el fin de mantener el centro de operaciones hasta las oficinas utilizando solo un hilo de fibra óptica.

1.5- Estructura de la tesis

El resto de la tesis está estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo II, iniciamos con la introducción a los enlaces con fibra óptica, que es el medio de comunicación en el cual trabaja la tecnología CWDM. Se identifican los elementos y componentes esenciales de este medio óptico, así mismo los tipos de fibra óptica, donde se presenta como se propaga la luz a través de cada uno. Debemos mencionar sus ventajas y desventajas para demostrar la factibilidad del uso de la fibra óptica. Se presentan algunos conceptos sobre la transmisión de la luz a través de la fibra óptica y efectos de los factores físicos en el cable (doblecetes o empalmes incorrectos) que provocan atenuación o pérdidas por dispersión. Así mismo, se enlistan los medios que deben intervenir en un enlace de fibra óptica desde las fuentes emisoras y detectores de luz y los tipos que derivan de cada uno. También es importante hacer mención las técnicas y materiales que se debe utilizar para un enlace real, como técnicas tenemos los empalmes por conectores mecánicos o por fusión y así mismo se detallan como son los conectores y sus derivaciones, con el fin de estudiar las formas de cada uno para saber que material se requiere para el enlace final.

En el capítulo III abordamos los sistemas de multiplexión, iniciando desde los sistemas tradicionales como TDM (Time Division Multiplexing o multiplexación por división de tiempo), FDM (Frequency Division Multiplexing o multiplexación por división de frecuencias), y STDM (Statistical Time Division Multiplexing o multiplexación estadística por división de tiempo). Existen otras técnicas de multiplexación, como WDM (Wavelength Division Multiplexing o multiplexación por

división de longitud de onda). Por la naturaleza del trabajo, nos enfocamos en WDM, el cual consta de dos métodos, DWDM Y CWDM, de esta última técnica existen dos maneras de multiplexación: DWDM (técnica densa) y CWDM (técnica gruesa), donde en la técnica densa el ancho de banda para cada señal multiplexada es menor al ancho de banda utilizado en la técnica gruesa. Se analizan los elementos que conlleva principalmente CWDM, que va desde los multiplexores y demultiplexores hasta las técnicas de multiplexación.

Seguidamente empezamos a adentrarnos a la tecnología CWDM, en la cual se trabaja con una investigación de los principales elementos que forman esta tecnología, iniciando desde el concepto CWDM, posteriormente las interfaces según la ITU-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones), los detectores para CWDM que son una parte importante para un enlace, ya que estos convierten los pulsos de luz en la información. Aunado a la tecnología es importante hacer énfasis de las herramientas que intervienen y sirven de apoyo para detectar cualquier anomalía en el enlace, estas herramientas son el OTDR (Reflectómetro óptico en el Dominio del Tiempo) y el medidor de potencia (OPM).

Finalmente, se describen los conceptos que intervienen en el desarrollo del proyecto, el material óptico y las herramientas necesarias de implementación y validación. Se presenta el diseño del enlace, considerando una planimetría de punto a punto validando la cantidad de material a utilizar, se escogen los demarcadores y SFP's necesarios para el enlace. Una vez finalizada la planimetría y asegurado los dispositivos, se continúa con el tendido de la fibra óptica, instalación del demultiplexor, validación de la potencia y enlace, configuración de los demarcadores con VLAN's de forma troncal y finalmente la realización de pruebas de conectividad y pruebas de acceso a los servicios y plataformas que nos ayudan en la gestión de la operación general de la empresa.

CAPÍTULO II. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE FIBRAS ÓPTICAS

2.1- Fibra óptica

Los sistemas de comunicación de fibra óptica son sistemas de ondas de luz que emplean Fibras ópticas para transmisión de información. Tales sistemas han sido implementados en todo el mundo desde 1980 y, de hecho, han revolucionado la tecnología detrás de las telecomunicaciones. De hecho, se cree que la tecnología de ondas de luz, junto con la microelectrónica, ser un factor importante en el advenimiento de la “era de la información”. (AGRAWAL, 2002)

La fibra óptica (FO) es un medio de transmisión óptico por el cual pasan señales en formas de pulsos de luz. Esta fibra óptica (FO) es fabricada con materiales de bajas pérdidas como vidrio de silicio o plásticos, esto la hace más flexible al manipularla. La FO tiene un diámetro aproximado al de un cabello humano para ser más precisos, es entre 50 a 125 μm .

En el centro tienen un núcleo en el cual la luz es guiada, integrada en otro recubrimiento con índice de refracción ligeramente más bajo. Los rayos de luz inciden en la frontera del núcleo recubierto en ángulos mayores que el ángulo crítico de reflexión interna total y son guiados a través del núcleo sin refracción. para la transmisión de la luz y frecuencias infrarrojas generadas por un LASER o LED'S a través de fibras transparentes de vidrio o de plástico.

Los dos elementos esenciales de la fibra óptica son el núcleo y el revestimiento. El núcleo es la parte más interna de la fibra y es la que guía la luz. El revestimiento es la parte que rodea y protege al núcleo. El conjunto de núcleo y revestimiento está a su vez rodeado por un forro o funda de plástico u otros materiales que lo resguardan contra la humedad, el aplastamiento, los roedores y otros riesgos del entorno. En la *Ilustración 1* se muestra en esquema la distribución de los elementos de la fibra óptica.

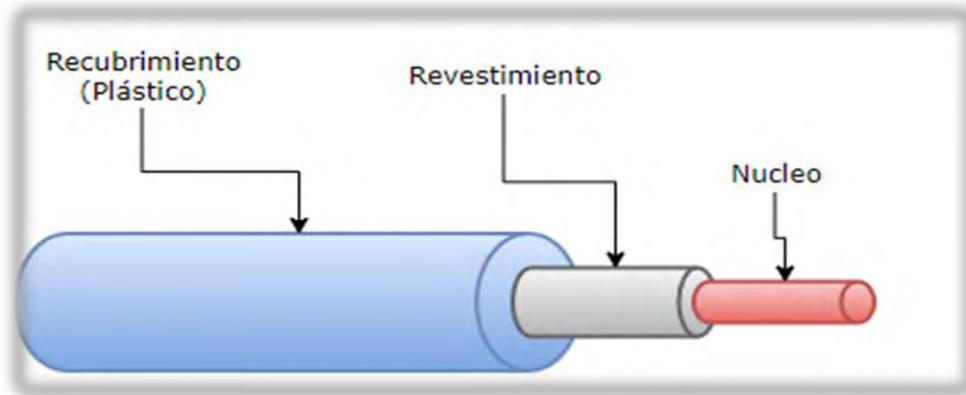


Ilustración 1 Fibra óptica

2.2- Tipos de fibra óptica

Las fibras ópticas son de dos tipos, monomodo y multimodo dependiendo de la forma de propagación que presenten. Y también dependiendo de nuestras necesidades, optaremos por un tipo de fibra óptica u otra. Dentro de un cable de fibra óptica se encuentran varios hilos de fibra óptica que van desde 6 hasta 96 hilos de fibra, ver *Ilustración 2*.

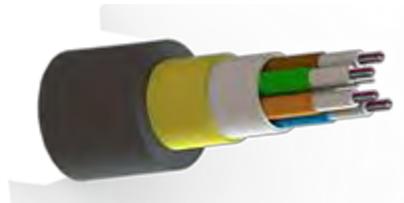


Ilustración 2 Hilos de la fibra óptica

2.3- Fibra monomodo

Las fibras de tipo monomodo tienen un solo modo de propagación que permite que la luz viaje a todo lo largo del núcleo evitando la dispersión modal, esto significa que la fibra permite propagar un tipo de modo de luz a la vez. El cable fibra monomodo tiene un diámetro relativamente estrecho de 8 a 10 μm (micrómetros), mientras que

el diámetro de la cubierta es de $125\mu\text{m}$, que puede propagarse a una longitud de onda de entre 1310 nm y 1550 nm .

Carga más banda ancha que la fibra multimodo, pero requiere una fuente de luz con ancho espectral estrecho. Este tipo de fibra se usa en muchas aplicaciones en las cuales los datos son enviados en multi frecuencia así que solo se necesita un cable. El tamaño pequeño del núcleo de fibra monomodo y el impulso de luz único eliminan virtualmente cualquier distorsión que pudiese resultar de la superposición de los impulsos de luz. Por lo tanto, el cable de fibra óptica monomodo proporciona una atenuación de la señal menor y velocidades de transmisión más altas que cualquier otro cable de fibra. Por estas razones, la fibra óptica monomodo es la mejor opción para la transmisión de datos a larga distancia. En la *Ilustración 3* se muestra un corte transversal de cómo se visualiza la fibra monomodo.

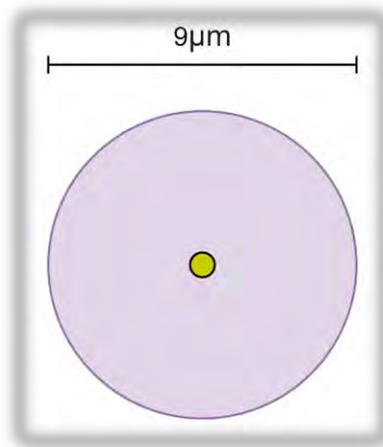


Ilustración 3 Fibra monomodo

2.4- Fibra multimodo

La fibra multimodo (MMF) contienen un núcleo más grande que la fibra monomodo con un aproximado de hasta $50\mu\text{m}$ como se visualiza en la *Ilustración 4* que representa una fibra multimodo y que está diseñada para transportar múltiples luces, rayos, o modos, simultáneamente, cada modo posicionado en un ángulo de reflexión ligeramente diferente dentro del núcleo de la fibra. Para MMF, la luz puede tomar varios caminos a la vez. El núcleo de MMF más grande lo hace fácil para

capturar la luz de un tranceptor y guiar múltiples modos al mismo tiempo, por lo que es un costo alternativo efectivo a la fibra monomodo en distancias más cortas. MMF acelera los modos de viaje, los caminos más largos y mantiene los modos individuales (pulsos) alineados para reducir el efecto modal dispersión. Aunque MMF hoy corrige la dispersión modal, MMF se usa típicamente para abreviar distancias porque los modos seguirán teniendo una tendencia a separarse en longitudes más largas independientemente de la compensación modal de dispersión.

Estas fibras cuentan con una banda de paso que llega hasta los 500 MHz por kilómetro. Su principio se basa en que el índice de refracción en el interior del núcleo no es único y este decrece cuando se dirige del núcleo hacia la cubierta.

Las fibras multimodo nos permite reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra.

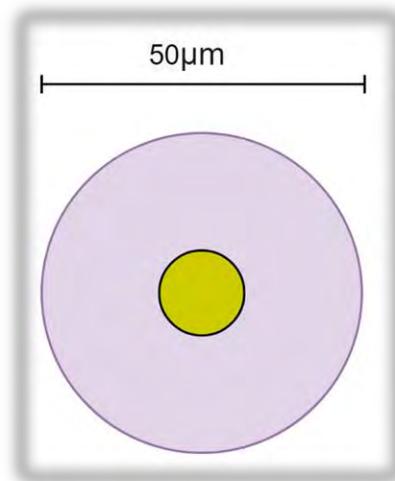


Ilustración 4 Fibra multimodo

2.5- Ventajas y desventajas de la fibra óptica

Las ventajas más sobresalientes de la fibra óptica son el gran ancho de banda y de las bajas pérdidas que pasas a través de este gran medio. No sólo es un medio eficiente de gran velocidad, sino, que también tiene otras bondades como las propiedades físicas de la fibra óptica. Por ejemplo, la inmunidad a la interferencia

inductiva o eléctrica, la cual la hace idónea para enlaces de telemetría o de datos en ambientes adversos. A continuación, enlistamos sus propiedades y beneficios que trae consigo el uso de la fibra óptica.

Ventajas:

- Ocupa menos espacio. Debido que es muy delgada y también sumamente flexible, y por de la misma forma facilita su instalación.
- Es super ligera. Lega a pesar ocho veces menos que un cable coaxial.
- Tiene gran resistencia. Esto en tanto mecánica como térmica, y resiste bien a la corrosión.
- Inmune a interferencias electromagnéticas. Dado que sus componentes no son conductores eléctricos.
- Veloz y eficaz. Debido a su gran capacidad es lo mejor conocido en transmisión por cable.

A pesar de que cuentas con diversas ventajas también la fibra óptica tiene sus propias desventajas frente a distintos medios de trasmisión.

Desventajas:

- Los empalmes son difíciles, principalmente en zonas de difícil acceso.
- Son muy frágiles y sin la técnica correcta de manejo se pueden quebrar.
- Disponibilidad limitada de conectores.
- No existen memorias ópticas.
- No puede transmitir electricidad para alimentar repetidores intermedios.
- Existen muy poco personal que tenga el conocimiento técnico para manejar adecuadamente la fibra óptica.

2.6- Modo de propagación

El modo de propagación se refiere en esencia a los caminos ópticos que sigue la luz dentro de la fibra.

Como se mencionó en capítulos anteriores la fibra óptica está compuesta por dos capas de vidrio, con sus respectivos índices de refracción. El índice de refracción del núcleo es mayor que al del revestimiento por la cual la diferencia de los índices de refracción, la luz introducida al interior de la fibra se mantiene y se propaga a través del núcleo.

Ahora bien, esta propagación de las señales a través de la fibra trae apareada una interacción con las partículas (átomos, iones, moléculas...) y accidentes, (como las variaciones locales del índice de refracción, curvaturas, imperfecciones, etc.) existentes en el mismo, que se manifiesta por lo general en una atenuación y en una dependencia de la constante de propagación con respecto a la frecuencia o la polarización. Ambos fenómenos son causantes de la pérdida de las señales que afecta negativamente a la comunicación, imponiendo límites a la longitud de los enlaces o al régimen binario alcanzable. La repercusión de estos mecanismos de degradación depende en gran medida del diseño concreto de la fibra (material, geometría...) y, especialmente, de la longitud de onda de operación, condicionando, por tanto, la elección de uno u otra.

En la *Ilustración 5* se muestra como a través de los diferentes tipos de fibra se propagan los rayos de luz, en una fibra monomodo la luz entrante es igual a la saliente, mientras que, en el multimodo, salen en diferentes ángulos.

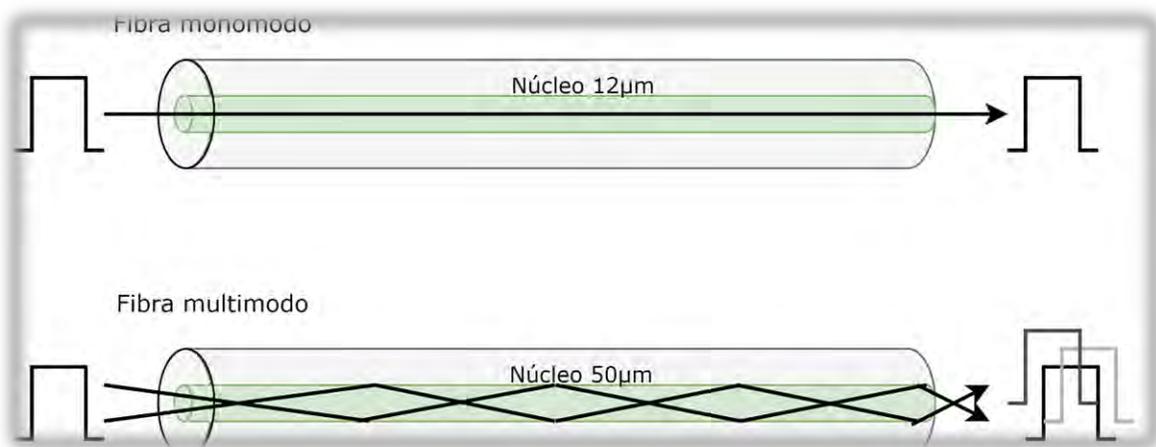


Ilustración 5 Modos de propagación

2.7- Conceptos básicos

2.7-1. Reflexión total

La fibra óptica utiliza el fenómeno de la reflexión para hacer que uno o más haz de luz se mantenga dentro de la fibra rebotando en las paredes, hasta llegar al final de esta donde se encuentra el sensor, hecho que se interpretará con un uno o cero lógicos.

La reflexión: es el cambio de trayectoria que experimenta un haz de luz al incidir en una superficie reflectora. Esto quiere decir que cuando un rayo de luz viaja en un medio y encuentra una frontera que esta a su vez conduce a un segundo medio, parte de la luz incidente se refleja.

Un ejemplo esquemático de este fenómeno se muestra en la *Ilustración 6*, lo cual demuestra como es el efecto de este fenómeno de reflexión.

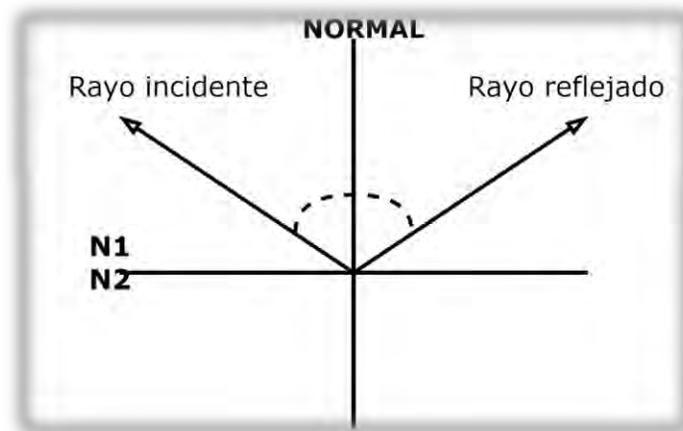


Ilustración 6 Reflexión de la luz

2.7-2. Índice de refracción

La refracción es un fenómeno donde los rayos de luz pasan de un medio de una densidad a otro de otra densidad, véase *ilustración 7*.

Ley de la refracción (Ley de Snell); matemático holandés Willebrord Snell (1580-1626). Nos dice que; El índice de refracción de la luz en un medio por el seno del

ángulo que forma el rayo incidente con la normal de separación entre dos medios es igual al índice de refracción en el segundo medio por el seno del ángulo de refracción.

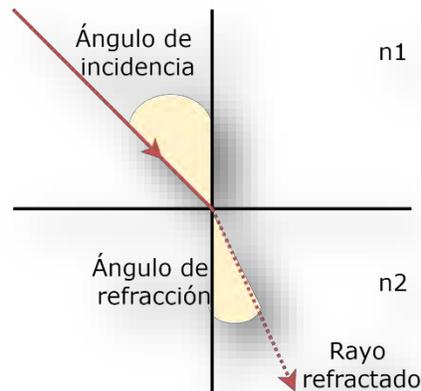


Ilustración 7 Rayo de luz refractado

2.7-3. Longitud de onda

La longitud de onda es uno de los términos más usados en las telecomunicaciones por fibra óptica. El cual se conoce como como el color de la luz, o del espectro electromagnético. Es decir, ya sean Rayos X, Radiación Infrarroja, o Radioondas, todas tienen una longitud de onda que forman parte de espectro electromagnético.

La longitud de onda y la frecuencia están relacionados entre sí, así que algunas formas de radiación son identificadas por su longitud de onda, y otras son identificadas por su frecuencia. Para las longitudes de onda más cortas, como la luz visible, UV y Rayos X, por ejemplo, generalmente nos referimos a ellas por su longitud de onda, mientras que, para longitudes de onda más larga, como la radio y TV, nos referimos a ellas por la frecuencia. En la *Ilustración 8* podemos ver en qué nivel se encuentra cada longitud de onda, esto medido en nanómetros.

La luz con la que estamos más familiarizados es la luz que podemos ver. Nuestros ojos son sensibles a la luz cuya longitud de onda está en el rango de

aproximadamente 400 nanómetros (mil millonésimas de metro) a 700 nanómetros, desde el azul / violeta hasta el rojo.

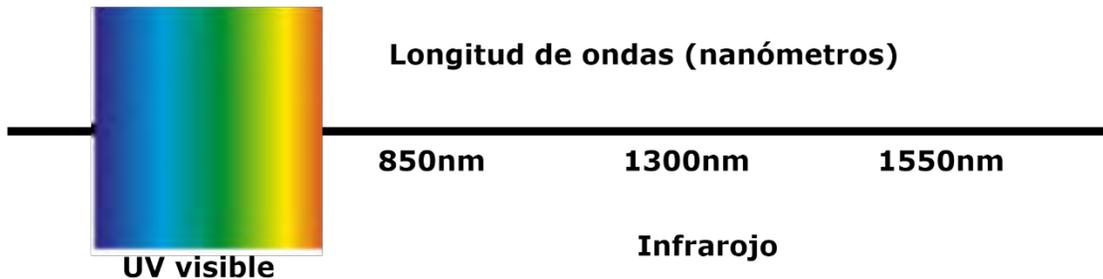


Ilustración 8 Longitud de onda

En fibra óptica, utilizamos generalmente luz en la región infrarroja que tiene longitudes de onda más largas que la luz visible, alrededor de 850, 1300 y 1550 nm. Se usa el infrarrojo ya que la atenuación de la fibra es mucho menor en esas longitudes de onda. Afortunadamente, también podemos fabricar transmisores (láseres o LED) y receptores (fotodetectores) en estas longitudes de onda lo cual es hace más eficaz la transmisión.

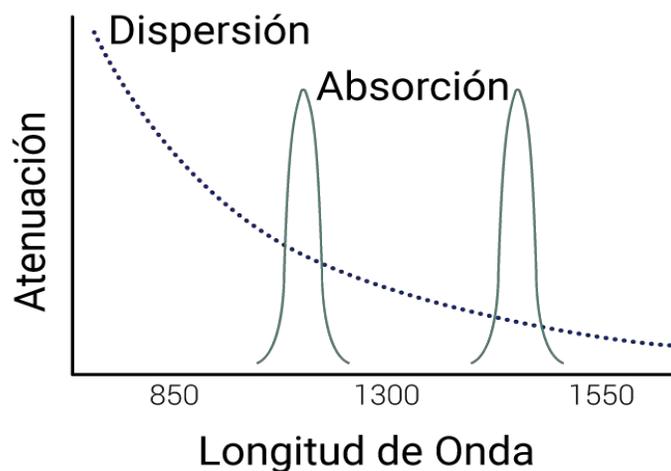


Ilustración 9 Atenuación causada por la dispersión y la absorción

2.7-4. Ancho de banda

Uno de los parámetros que caracteriza la capacidad de transmisión de la fibra, está basado en el ensanchamiento que experimenta un pulso que se propaga a través de la fibra.

El ancho de banda está definido por la siguiente ecuación:

$$\text{EC. 1} \quad AB = \frac{0.44}{\Delta T} (\text{MHz} - \text{km})$$

Donde,

ΔT es el ensanchamiento del pulso en nano segundos.

El ancho de banda de transmisión en las fibras monomodo es de hasta 100 GHz, y en el multimodo es de hasta 2 GHz.

2.8- Factores que dificultan la transmisión en la fibra óptica

2.8-1. Atenuación

Este factor es la disminución o pérdida total de la potencia de la señal a medida que ésta se propaga. En una fibra óptica, y para un determinado modo de propagación, dicha reducción de la potencia se produce de manera exponencial con respecto a la longitud recorrida. La constante de proporcionalidad, denominada constante de atenuación, tiene unidades de dB/km. Este factor se ve afectado por temas adicionales causadas por los conectores, los empalmes y las flexiones (o curvaturas).

La atenuación depende de la longitud de onda de operación. Para las fibras de óxido de silicio convencionales, ésta es mínima alrededor de 1550 nm.

La atenuación media A , de un enlace viene dada por:

$$\text{Ec: 2} \quad A = \alpha L + \alpha_s \theta x + \alpha_c y$$

dónde:

- α = coeficiente de atenuación medio de los cables de fibra en un enlace;
- α_s = pérdida media por empalme;
- x = número de empalmes en un enlace;
- α_c = pérdida media de conectores de línea;
- y = número de conectores de línea en un enlace (si se proporciona);
- L = Longitud del enlace.

Debe asignarse un margen adecuado para futuras modificaciones de las configuraciones de los cables (empalmes adicionales, longitudes de cable extras, efectos de envejecimiento, variaciones de temperatura, etc.). La ecuación anterior no incluye la pérdida de conectores del equipo. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas en estos parámetros. (Recomendación, 2016)

En otros términos, la atenuación de la fibra óptica de vidrio se debe a dos factores, la absorción y la dispersión, en donde, la absorción ocurre en varias longitudes de onda específicas llamadas bandas de agua debido a la absorción por cantidades diminutas de vapor de agua en el vidrio.

Tabla 1 Comparación de atenuación y ancho de banda

Medios de transmisión	Atenuación (dB/km)	Ancho de banda
Fibra monomodo	0.25(1550nm)	10GHz*km
Fibra multimodo	0.50(1300nm)	1GHz*km 100MHz*km
Fibra plástica	200	10MHz*km
Coaxial	10 25-30	30MHz 500MHz
TP/CATV	260	100MHz
Aire	1-10	300MHz

2.8-2. Dispersión

2.8-2.1. Dispersión cromática

La dispersión cromática, expresada en ps/nm, puede obtenerse a partir de los coeficientes de dispersión cromática de los largos de fabricación, suponiendo una dependencia lineal con la longitud y respetando los signos de los coeficientes. (Recomendación UIT-T, 2006)

Es el retardo en tiempo que experimenta el haz de luz a través de la fibra óptica.

La dispersión cromática se produce porque los rayos de luz que inyectamos en el extremo de un enlace por medio de cable de fibra óptica llegan al otro lado en diferentes momentos, recibiendo una señal ligeramente distorsionada. Se mide en ps/nm*km, que indica que un pulso con una anchura espectral de 1 nanómetro se ensanchará 1 picosegundo por cada kilómetro que viaje.

El fenómeno de la dispersión cromática es en realidad la suma de 2 dispersiones: la dispersión del material y la dispersión por guía de onda. Ambos afectan tanto a fibras monomodo como multimodo.

2.8-2.2. Dispersión en modo polarizado

La mayoría de las fibras monomodo soportan dos modos de polarización perpendiculares, uno vertical y otro horizontal. Debido a que los estados de polarización no se mantienen, hay una intención entre pulsos y como consecuencia un ensanche de la señal.

La dispersión en modo polarización (PMD) es causada por la ovalidad de la forma de l fibra como resultado del proceso de fabricación de tensiones externas. Debido a que la dispersión cromática, puede variar con el tiempo.

2.9- Elementos en un sistema de comunicación por fibra óptica

Un sistema de comunicación surge de la necesidad de transmitir información de un punto a otro. Actualmente existen diversos tipos y formas que pueden realizar esta función.

Un enlace con fibra óptica conlleva los siguientes elementos, véase *Ilustración 10*.

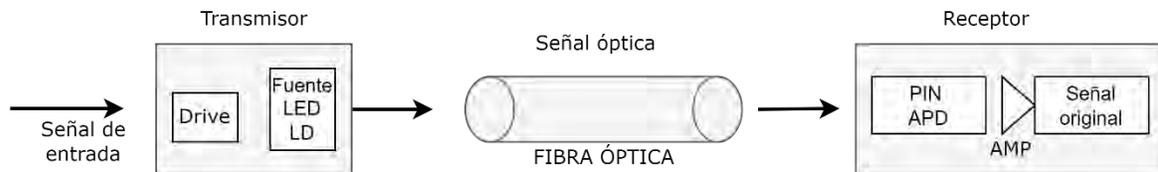


Ilustración 10 Elementos de un sistema de comunicación por fibra óptica

La instalación de la fibra óptica en una red GPON o enlaces, pueden ser aéreas, ductos, submarina o enterrada directamente en la tierra. Mucho de esto depende del contexto, ya que, en un enlace, se analiza la factibilidad de la instalación con respecto a la ruta.

2.9-1. Fuentes de luz y detectores

Los emisores de luz y los detectores de luz son dispositivos activos en extremos opuestos de un sistema óptico de transmisión. Las fuentes de luz, o los emisores de luz, son dispositivos en el lado transmisor que convierten las señales eléctricas en pulsos de luz. El proceso de esta conversión, o modulación, se puede llevar a cabo mediante modulación externa de una onda continua de luz o usando un dispositivo que puede generar luz modulada directamente. Los detectores de luz realizan la función opuesta de la función de los emisores de luz. Son dispositivos optoelectrónicos en el lado receptor que convierten los pulsos de luz en señales eléctricas.

2.9-2. Emisores de luz - Leds y láseres

La fuente de luz usada en el diseño de un sistema es un tema de gran importancia porque puede ser uno de los elementos caros. Sus características son a menudo un factor importante en cuanto a la limitación en el rendimiento final del enlace por fibra óptica. Los dispositivos emisores de luz usados en la transmisión óptica deben ser compactos, monocromáticos, estables y de larga duración.

Monocromático es un término relativo; en la práctica hay solamente fuentes de luz con un rango determinado. La estabilidad de la fuente de luz es una medida de cuan constante es su intensidad y longitud de onda.

Se usan dos tipos generales de dispositivos emisores de luz en transmisión óptica, los LED's (Light-Emitting Diodes) y los láseres (diodos o semiconductores).

Los LED's son dispositivos lentos, útiles para velocidades inferiores a 1 Gbps, tienen un espectro relativamente ancho, y transmiten la luz en un cono relativamente ancho. Estos dispositivos son baratos y se usan a menudo en comunicaciones con fibra multimodo. Por otro lado, los láseres semiconductores tienen como característica un rendimiento mejor y se pueden utilizar en aplicaciones con fibra monomodo y preferible en enlaces de larga distancia.

Los requerimientos para láseres incluyen una longitud de onda precisa, un ancho del espectro estrecho, suficiente potencia, y control del chip (el cambio en frecuencia de una señal en el tiempo). Los láseres semiconductores satisfacen bien los tres primeros requerimientos. Sin embargo, el chip puede estar afectado por los medios usados para modular la señal. En los láseres modulados directamente, la modulación de la luz que representa el dato digital se hace internamente. Con la modulación externa, la modulación se hace en un dispositivo externo.

2.9-2.1. Diferencia entre LED's y láseres

Tanto los LED's como los láseres emiten fotones para producir luz. La luz de un LED es más dispersa y multidireccional, mientras que la luz del láser es altamente

enfocada. Los láseres se utilizan en óptica y electrónica, mientras que los LED se usan para iluminación.

2.9-3. Fotodetectores

En el lado receptor, es necesario recuperar las señales transmitidas a diferentes longitudes de onda en la fibra. Debido a que por naturaleza los fotodetectores son dispositivos de banda ancha, las señales ópticas son demultiplexadas antes del detector. Su función es convertir la señal óptica recibida en una señal eléctrica, la cual se amplifica antes de ser procesada.

Se utilizan fundamentalmente dos tipos de fotodetectores, el fotodiodo PIN (Positive-Intrinsic-Negative) y el fotodiodo de avalancha (APD su función es convertir la señal óptica recibida en una señal eléctrica, la cual se amplifica antes de ser procesada.

2.9-3.1. Foto diodo PIN

El fotodiodo PIN se utiliza para permitir la operación en longitudes de onda grandes donde la luz penetra más profundamente en el material semiconductor y presenta las siguientes características.

- Si se incrementa el ancho de la región activa se incrementa la eficiencia.
- El ancho de la región de agotamiento incrementa el tiempo de tránsito de los fotones.

El fotodiodo PIN es el detector relativamente fácil de fabricar, altamente fiable, tiene bajo ruido y es compatible con circuitos amplificadores de baja tensión. Los fotones entran a la zona intrínseca generando pares electrón-hueco. El diodo se polariza inversamente con el fin de que las cargas generadas en la zona intrínseca sean aceleradas por el campo eléctrico presente.

2.9-3.2. *Fotodiodo de avalancha*

Los fotodiodos APD son similares a los diodos PIN en cuanto a que trabajan polarizados en inversa, pero su ganancia se obtiene a través de un proceso de amplificación. Los fotodiodos PIN tienen muchas ventajas, incluido su costo y su fiabilidad, pero los APD's tienen mayor sensibilidad de recepción y mayor exactitud. Sin embargo los APD's son más caros que los fotodiodos PIN, y pueden tener requerimientos de intensidad mayores y más sensibles a la temperatura

El fotodiodo APD se polariza fuertemente siendo el campo eléctrico de la unión lo suficientemente grande para acelerar los fotones de carga y adquirir suficiente energía para más aceleración, de lo que él lograría por un proceso de ionización.

El fotodiodo APD puede tener una estructura y geometría que maximice la absorción de fotones.

Tabla 2 Comparación entre Foto diodo PIN y APD

Foto diodo PIN	Fotodiodo APD
No tiene ganancia	Ganancia interna
Sensible	Mayor sensibilidad
Ancho de banda limpio	Ancho de banda reducido
Usa bajo voltaje de polarización	Usa alto voltaje
Bajo ruido	Ruidoso
Muy confiable	
Comúnmente más usado	

2.9-4. Amplificadores ópticos

Debido a la atenuación, hay límites en cuanto a la longitud de un segmento de fibra. Si se sobrepasan es necesaria una regeneración de la señal. Antes de la existencia de los amplificadores ópticos (OA), se debía tener un repetidor por cada señal transmitida. El OA ha hecho posible amplificar todas las longitudes de onda a la vez y sin conversión OEO (Optical - Electric -Optical) Además de ser usados en enlaces ópticos, los amplificadores ópticos también se pueden usar para aumentar la potencia de la señal después de la multiplexación o antes de la demultiplexación, dado que ambos procesos introducen pérdidas en el sistema.

2.9-4.1. Amplificadores de fibra óptica dopado con erbio

Los EDFA's como su nombre dice, se basan en las fibras ópticas de silicio que se dopan con erbio. Este dopaje convierte una fibra pasiva en activa.

El amplificador óptico de fibra dopada con erbio (EDFA = Erbium Doped Fiber Amplifier) ha generado especial interés para las comunicaciones ópticas debido a que el ion Er^{3+} posee una transición láser alrededor de 1.536nm, lo cual permite amplificar las señales de los sistemas de comunicaciones por fibra óptica en la tercera ventana (longitudes de onda entre 1.53nm y 1.55nm). ver *ilustración 11*.

Los parámetros claves de los amplificadores ópticos son la ganancia, el nivel de ruido y la potencia de salida. Típicamente los EFDA's son capaces de dar ganancias de hasta 30 dB o más y potencias de salida de +17dB o más. Sin embargo, los parámetros clave cuando se selecciona un EFDA son el bajo ruido y la igualdad de la ganancia en la banda requerida. La ganancia es plana porque todas las señales deben ser amplificadas uniformemente.

La ganancia de un EDFA depende de una gran cantidad de parámetros del dispositivo, como la concentración de erbio, longitud del amplificador, radio del núcleo y potencia de bombeo.

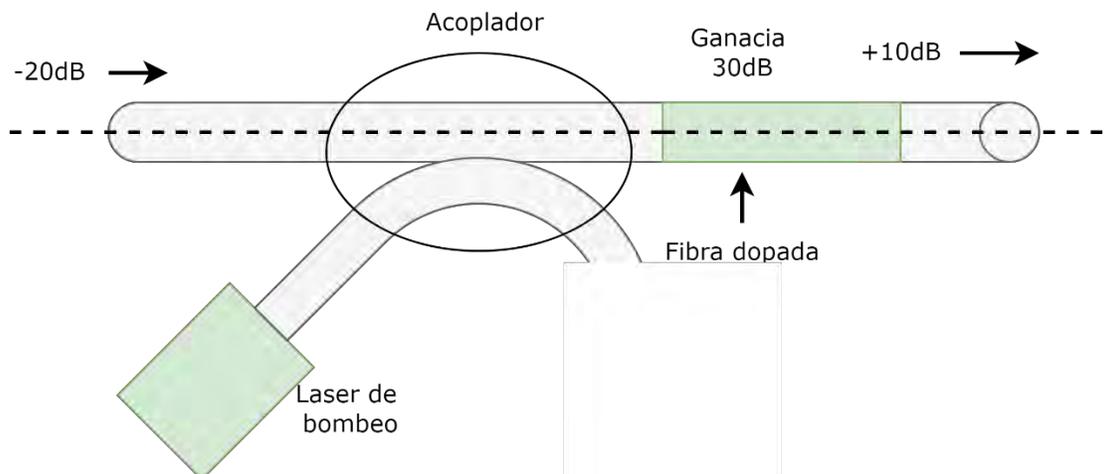


Ilustración 11 Esquema EDFA

2.10- Técnicas de empalme de fibra óptica

En el mundo de los conectores de cobre, el empalme puede ser una simple pareja de alambre unidos y soldados. Pero los empalmes de la Fibra Óptica son un reto mucho más complicado, donde se requiere capacitación especial, práctica y equipo, junto con paciencia y una buena coordinación los cuales son necesarios para hacer empalmes aceptables con el mínimo de atenuación. Los dos métodos básicos para los empalmes son: Mecánicos y Fusión. Ambos métodos proporcionan una pérdida de inserción mucho menor en comparación con los conectores de fibra.

2.10-1. Empalme por fusión

El empalme por fusión es el método más utilizado y consiste en aplicar calor en una zona específica entre las fibras a unir, suavizándolas y fusionándolas. Las fibras ópticas deben prepararse en los extremos para que estén planas y perpendiculares al eje, limpiando la fibra de grasa y polvo, un ejemplo claro es como se muestra en la *ilustración 12* a través de una empalmadora como *ilustración 13*.

Hay que destacar que este método es más caro, pero tiene una vida más larga que el empalme mecánico. El método de fusión fusiona los núcleos de fibra con menos atenuación. (Pérdida de inserción < 0.1 dB).

En el proceso de empalme por fusión, se utiliza una máquina empalmadora por fusión especializada para alinear con precisión los dos extremos de la fibra y luego los extremos de vidrio se "fusionan" o "suedan" entre sí mediante un arco eléctrico o algún tipo de calor, cuando se les aplica una fuente de alta tensión de 4000 a 5000 voltios con corriente controlada. La potencia calorífica del arco eléctrico dependerá de la corriente que en cada momento suministre la fuente de alta tensión. Esto produce una conexión transparente, no reflectante y continua entre las fibras que permite una transmisión de luz de muy baja pérdida. (Pérdida típica: 0.1 dB)

El personal técnico que realiza el empalme por fusión de fibra óptica deberá hacer el proceso en dos pasos.

1. Alinear con precisión las dos fibras
2. Generar un pequeño arco eléctrico con la empalmadora para fundir las fibras y soldarlas juntas

Con la capacitación adecuada, experiencia y practica continua, un técnico de empalme de fibra puede lograr rutinariamente un empalme con pérdida de inserción de menos de 0.1 dB para cables de fibra monomodo y multimodo.

Hay que considerar que uno de los factores más importantes para obtener bajas pérdidas en la realización de los empalmes de fibras ópticas, es el ángulo de corte con respecto a la perpendicular al eje; éste ha de ser menor de 1° en toda la superficie del corte. Para realizar estos cortes se utilizan cortadoras de precisión.

Además de la pérdida de empalme más baja a 0.1dB típica, las ventajas del empalme de fusión incluyen menos reflexión posterior.

La aplicación común para el empalme es la unión de cables en tramos largos de cables de planta exterior. Aquí es donde la longitud de un tramo requiere más de un cable. El empalme se usa generalmente para terminar fibras monomodo (mediante el empalme de pigtails pre-terminados en cada fibra), pero hay otros usos. Es importante tener en cuenta que el corte se puede usar para mezclar diferentes tipos de cables de fibra, como conectar cables de 48 fibras a seis cables de 8 fibras que van a diferentes lugares.

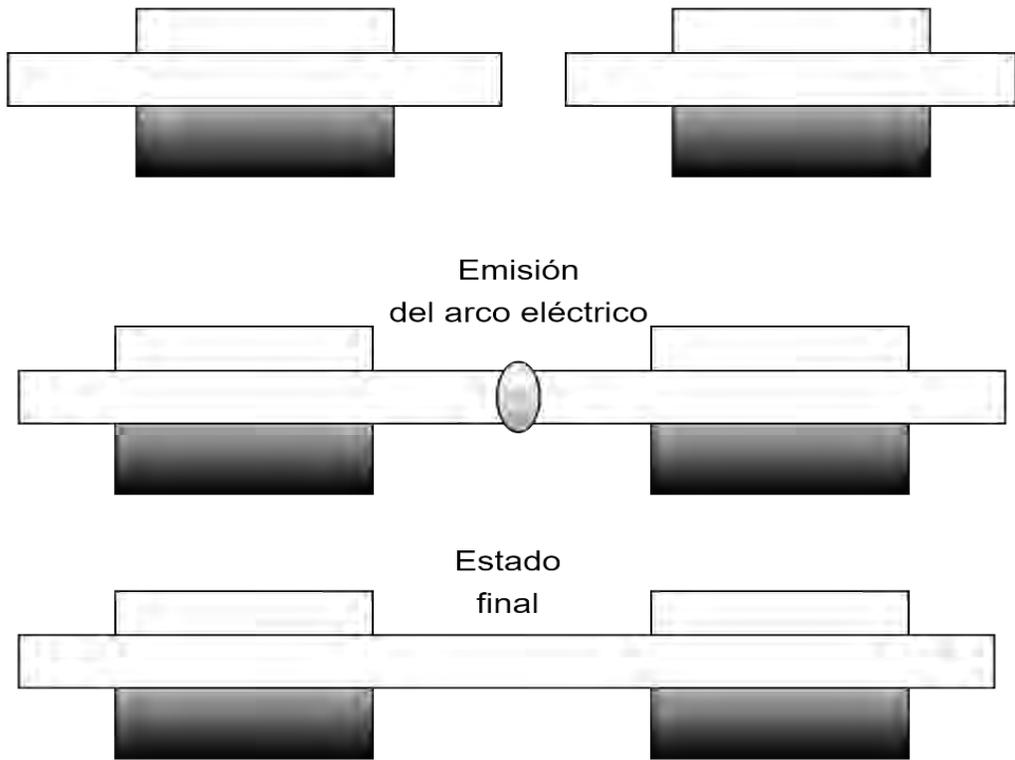


Ilustración 12 Empalme por fusión

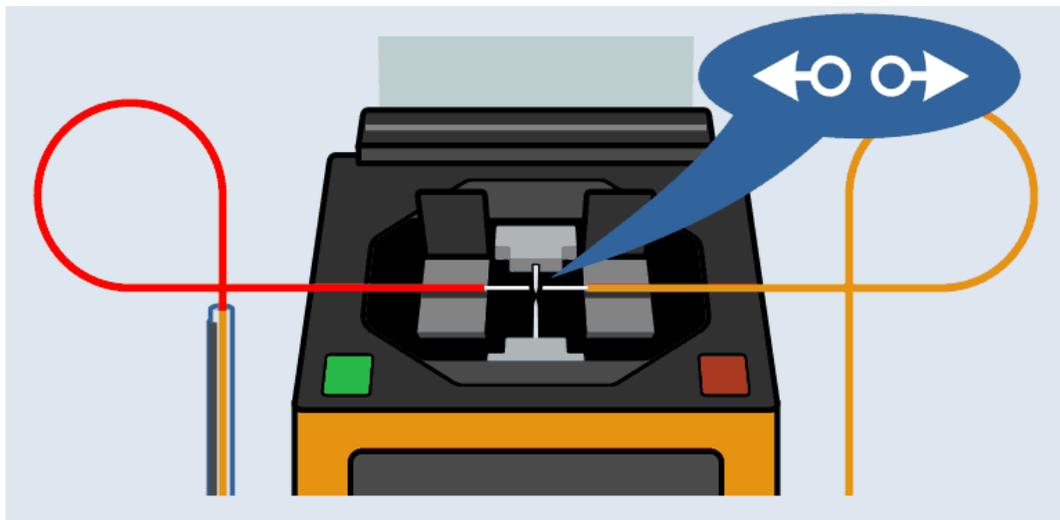


Ilustración 13 Fusión de la fibra

El arco que se produce entre los dos electrodos es de unos 7000 voltios con una corriente ajustable hasta 25 mA una combinación muy desagradable y peligrosa. (Crisp, 2001)

2.10-2. Empalmes mecánicos

El empalme mecánico del cable de fibra óptica es una técnica de empalme alternativa que no requiere un empalmador de fusión.

Estos empalmes se utilizan principalmente en enlaces de corta distancia donde se puede tolerar pérdidas considerables. Este tipo de empalme une la fibra óptica por medios mecánicos tales como ranura en forma de varillas se puede agregar una sustancia epóxica para adherir las fibras y además actuar como acoplador óptico.

El empalme mecánico utiliza un empalme mecánico pequeño, de unos 6 cm de largo y 1 cm de diámetro, que une permanentemente las dos fibras ópticas. Esto alinea con precisión dos fibras desnudas y luego las asegura mecánicamente.

Se utiliza una cubierta a presión, una cubierta adhesiva o ambas para sujetar permanentemente el empalme.

Las fibras no están unidas permanentemente, solo se mantienen juntas con precisión para que la luz pueda pasar de una a otra. (Pérdida de inserción <0.5dB)

La pérdida de empalme suele ser de 0.3 dB. Pero el empalme mecánico de fibra introduce una mayor reflexión que el método de empalme por fusión.

Los empalmes mecánicos de cables de fibra óptica son pequeños, bastante fáciles de usar y muy útiles para reparaciones rápidas o instalaciones permanentes. Están disponibles en tipos permanentes y rentables.

Los empalmes mecánicos de cable de fibra óptica están disponibles para fibras monomodo o multimodo.

2.10-3. Conectores mecánicos

Los conectores de fibra óptica son los componentes que permiten el acople sencillo de la fibra con los elementos receptores y transmisores.

Además, se deben tener en cuenta que las partes de los conectores de fibra son: Férula (cilindro que rodea la fibra a manera de PIN), Cuerpo (es la base del conector), Ojillo de crimpado (es el que sujeta la fibra al conector) y Bota (es el mango del conector). Ver *ilustración 14*.



Ilustración 14 Conector mecánico

2.10-3.1. Conectores de fibra LC

Es un conector push-pull, utiliza una férula pequeña de 1,25mm y un mecanismo a prueba de tirones, de igual manera está disponible para fibras monomodo, multimodo, simplex y dúplex, ofreciendo baja pérdida de inserción.

Es ideal para conexiones de alta densidad, transceptores SFP y SFP+ y transceptores XFP. Junto con el desarrollo de transceptores compatibles con LC (Lucent Connector) y componentes de red activos, continuará creciendo en el campo de FTTH.



Ilustración 15 Conector LC

2.10-3.2. Conectores de fibra SC

Los conectores SC de fibra (Standard Connector) son los más usados en redes FTTH, tienen un diseño versátil que permite conectarse con un mecanismo de acoplamiento push-pull. El conector sujeta una férula de 2,5mm. Sirve para fibra monomodo y multimodo.



Ilustración 16 Conector SC

2.10-3.3. Conectores de fibra MU

Este conector tiene un mecanismo de fijación a presión push-pull para aplicaciones de alta densidad. Consta de una cubierta plástica de precisión y una férula de 1,25mm.

El conector MU (Unidad Miniatura), es de última generación donde el diseño del conector SC prevalece, sólo que reducido a la mitad.

Aplicaciones:

- Redes de telecomunicaciones
- Transferencia de datos
- CATV
- LAN / WAN
- Aplicaciones en interiores
- FTTH



Ilustración 17 Conector MU

2.10-3.4. Conectores de fibra ST

Los conectores de fibra ST (Straight Tip – Punta Recta), tienen un diseño tipo bayoneta que permite una alineación sencilla. El mecanismo de acoplamiento de solo Empuja y Gira asegura que el adaptador no tenga deslizamientos ni desconexión.

Es un conector de sujeción semejante a los conectores coaxiales, suele utilizarse en instalaciones Ethernet híbridas entre cables de pares y fibra óptica.

Aplicación:

- Redes de procesamiento de datos,
- Redes LAN e instrumentación
- Para todo tipo de fibras



Ilustración 18 Conector ST

2.10-3.5. Conectores de fibra FC

Los conectores de fibra FC (Ferrule Connector – Conector de férula), cuentan con un diseño tipo rosca que se asegura al adaptador de manera firme, el cuerpo del conector sujeta la férula que tiene 2,5 mm de diámetro.



Ilustración 19 Conector FC

2.10-4. Pulido de férula en las fibras ópticas

La férula es la parte central del conector y es la que contiene realmente la fibra óptica, puede encontrarse en distintos materiales como plástico y acero, sin embargo, la cerámica es el material que más se emplea para la fabricación gracias a la alta calidad que ofrece.

Generalmente las férulas se encuentran en dos diámetros distintos, 2.5 mm y 1.25mm, no obstante, su tamaño puede variar según el fabricante y el tipo de aplicación. Es importante tener en cuenta que las fibras ópticas presentan pérdidas de inserción (IL) y pérdidas de retorno (RL) al encontrarse acopladas a un conector o puerto, dichas pérdidas pueden variar y ser insignificantes si se elige el conector con el tipo de férula adecuado.

Por consiguiente, se mencionan los siguientes tipos de pulido de férula, resumido en la *Ilustración 20*.

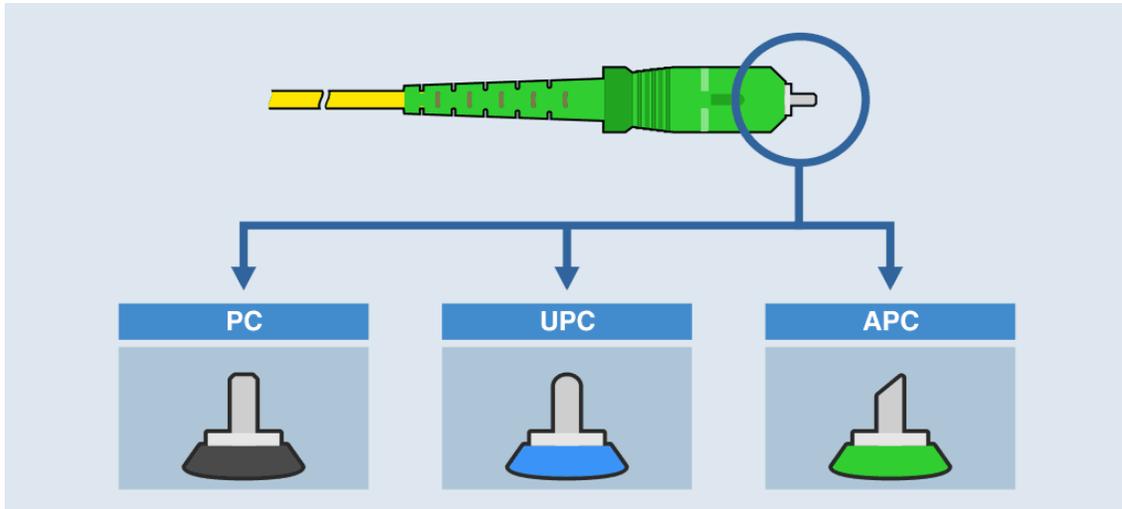


Ilustración 20 Pulido de férula de la fibra

2.10-4.1. Pulido de férula PC

Los conectores con pulido de férula PC (Physical Contact), finalizan su pulido con una ligera curvatura convexa, la cual ubica en la parte superior al extremo de la fibra, reduciendo el efecto del aire entre fibras. Además, cuenta con una pérdida de inserción de aproximadamente 0,3 dB y pérdidas de retorno alrededor de los 40dB.

Esta es una solución cada vez más en desuso, ver *Ilustración 21*.

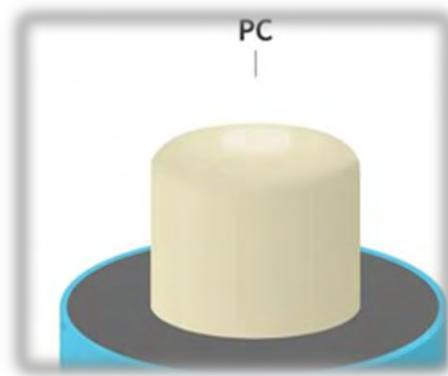


Ilustración 21 Pulido de férula PC

2.10-4.2. Pulido de férula UPC

Los conectores que utilizan el pulido de férula UPC (Ultra Physical Contact), ver *Ilustración 22*, son similares a los PC, pero logran reducir las pérdidas de retorno a un margen entre los 40 y los 55 dB gracias a que el bisel tiene una curva más pronunciada. La tendencia actual es utilizarlo en líneas muertas para que los operadores de telecomunicaciones lleven a cabo pruebas de red, por ejemplo, con OTDR.

Estos conectores son generalmente usados en equipos de conexión Ethernet, así como una serie de dispositivos, convertidores multimedia y switches ópticos. También son implementados en sistemas de data y sistemas telefónicos.



Ilustración 22 Pulido de férula UPC

2.10-4.3. Pulido de férula APC

Se trata del conector que logra un enlace óptico de mayor calidad ya que consigue reducir las pérdidas de retorno hasta los 60 dB aumentando así el número de usuarios en fibras monomodo. Por este motivo, unido a sus cada vez menores costes de fabricación, APC (Angled Physical Contact) se ha convertido en el tipo de pulido más utilizado.

Este modelo conectores APC son de uso multi-play, es por eso por lo que son lo más usados en aplicaciones de radio frecuencias (RF) como CATV o en sistemas de distribuciones de antenas, adicional a que son los pulidos típicos de las

conexiones FTTH. Además, son utilizados en aplicaciones ópticas pasivas, como conexiones de arquitectura PON u ópticas pasivas LAN's. En la *Ilustración 23* podemos observar cómo es el Angulo de esta férula el cual debe ser de 8 grados.

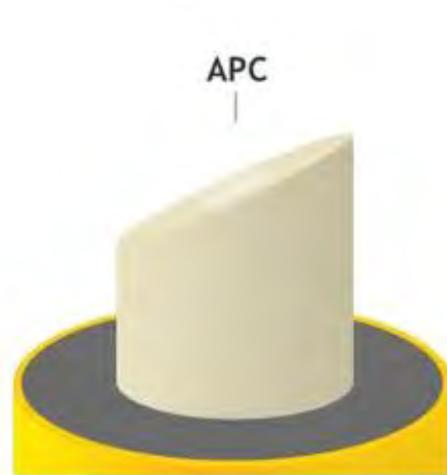


Ilustración 23 Pulido de férula APC

CAPITULO III. SISTEMAS DE MULTIPLEXACIÓN

3.1- Sistemas tradicionales

3.1-1. Definición

En un sistema de comunicaciones, si sólo se transmite una señal por canal, significa que este enlace no se explota en su mejor capacidad. El término multiplexación utiliza un simple canal para acomodar una multiplicidad de señales independientes. Esto significa que se pueden transmitir varias fuentes de información, como audio, datos, vídeo, etc., por un solo canal de comunicación. El multiplexador, en ocasiones llamado mux, es un equipo de comunicación utilizado en dicho propósito.

El costo de una red que utiliza multiplexación es mucho menor al de una red que no utiliza dicha técnica. Esto debido a la minimización de enlaces de comunicación entre dos puntos. Un ejemplo claro es la red telefónica. Sin la multiplexación una persona que quiere comunicarse con N personas debe tener una salida por cada receptor. Pero con la técnica de la multiplexación, existen las centrales telefónicas y cada persona tiene una única salida del hogar para comunicarse con N personas.

Existen varias técnicas de multiplexación, entre ellas: TDM (Time Division Multiplexing o multiplexación por división de tiempo), FDM (Frequency Division Multiplexing o multiplexación por división de frecuencias), STDM (Statistical Time Division Multiplexing o multiplexación estadística por división de tiempo). Existen otras técnicas de multiplexación, como WDM (Wavelength Division Multiplexing o multiplexación por división de longitud de onda), de esta última técnica existen dos maneras de multiplexación: DWDM (dense o densa) y CWDM (Coarse o esparcida), donde en la técnica densa el ancho de banda para cada señal multiplexada es menor al ancho de banda utilizado en la técnica esparcida.

Enlistaremos las características de los multiplexores:

- Se minimizan los costos de un sistema de comunicación, al rentar sólo una línea privada para comunicación entre dos puntos.

- Útil en la comunicación paralela entre dos localidades o sitios.
- Permite a varios dispositivos compartir un mismo canal de comunicaciones.
- Normalmente se utilizan en pares, uno en cada extremo del circuito.
- Los datos de varios dispositivos se pueden transmitir por un mismo circuito, porque el mux receptor (demux) los separa y los envía a los destinos apropiados.
- Capacidad para comprimir datos, con lo cual se eliminan bits redundantes y se optimiza el ancho de banda.
- Capacidad de administrar la red dinámicamente con niveles de prioridad de tráfico.
- Mejor capacidad de detección y corrección de errores entre dos puntos conectados, con lo cual se mantiene la precisión e integridad de los datos.

3.2- Tecnología WDM

La multiplexación por división de longitud de onda, multiplexación óptica o WDM (Wavelength Division Multiplexing) tiene su origen, en la posibilidad de acoplar la salida de diferentes fuentes emisoras de luz, cada longitud de onda (canales) o frecuencia óptica diferente, sobre una misma fibra óptica, la misma que puede soportar varios tipos de transmisión de información de banda ancha.

En WDM, la banda del espectro radioeléctrico utilizado en la región es de 1300 o 1550 nm, que son dos ventanas de onda que las fibras ópticas tienen muy baja pérdida de señal. Inicialmente, cada ventana se utiliza para transmitir una sola señal digital. Con el avance de los componentes ópticos, tales como información distribuida (DFB) láseres, amplificadores de fibra dopada con erbio (dopada con erbio), y fotodetectores, pronto se dieron cuenta de que cada uno transmite ventana de hecho podría ser utilizado por varias señales ópticas, cada una ocupando una pequeña tracción de la ventana onda total disponible. De hecho, el número de las señales ópticas multiplexados dentro de una ventana sólo está limitado por la precisión de estos componentes. Con la tecnología actual, más de 100 canales

ópticos se pueden multiplexar en una sola fibra. La tecnología fue entonces llamada DWDM.

Cabe mencionar que antes de implementar la tecnología WDM eran necesarias dos fibras en un sistema de comunicación o enlace, donde, una de ellas estaría conectada al transmisor óptico, mientras que la otra provendría del receptor, permitiendo una comunicación bidireccional, conocida como "full-dúplex". Sin embargo, con la llegada de WDM, sólo se requiere de una fibra para proporcionar comunicación "full-dúplex", sin tener limitación con respecto al número de canales que se tengan.

Hay que destacar que el OADM es uno de los elementos de red importantes en las conexiones WDM, para la inserción y extracción de señales ópticas individuales en puntos intermedios del camino entre extremos, permitiendo el diseño de redes WDM.

3.3- Multiplexores

En WDM los multiplexores y demultiplexores son dispositivos necesarios, sirven para introducir en una fibra distintas longitudes de onda.

Los multiplexores o también conocidos como "MUX" son dispositivos que tiene múltiples entradas y una sola salida de línea. Los multiplexores o selectores de datos hacen que podamos transmitir el dato de entrada que nosotros queremos en cada momento a una salida determinada.

Un multiplexor o mux es un circuito combinacional, permite que, teniendo varias entradas podamos, a través de un selector, poder transmitir toda información o datos que necesitemos.

Un multiplexor tiene D entradas, una única salida y E entradas de selección, que cumplen la fórmula $D = 2^E$ (las entradas de selección son proporcionales a las entradas del multiplexor).

Un multiplexor puede ser, por ejemplo, de 8 entradas, 3 selectores (S0, S1 S2), una E (terminal de inhibición) que tiene que estar conectado a masa para que funcione el multiplexor y por último la salida Z (donde nos da la salida negada).

Hay distintos tipos de multiplexores de 2, 4, 8, 16, entradas, de paralelo a serie. Sus aplicaciones son muy variadas, los podemos encontrar en generadores de las funciones lógicas, display multiplexor de 7 segmentos, etc.

3.4- Demultiplexores

Se denomina al demultiplexor (también llamado DEMUX) por el número de canales de salida N, en donde solo tiene una sola entrada. Se utiliza para enviar una señal a uno de los muchos dispositivos. La principal diferencia entre un multiplexor y un demultiplexor es que un multiplexor toma dos o más señales y las codifica en un cable, mientras que un demultiplexor invierte lo que hace el multiplexor. En la siguiente *Ilustración 24* se visualizan el MUX/DEMUX de un enlace.



Ilustración 24 MUX/DEMUX

3.5- Técnicas de multiplexión y demultiplexión

3.5-1. Multiplexadores ópticos ADD/DROP

A menudo es deseable remover o insertar una o más longitudes de onda en algún punto del enlace. Un multiplexador óptico inserción/extracción (OADM) realiza esta

función. Mas que combinar o separar todas las longitudes de onda, los OADM pueden remover algunas mientras dejan pasar las restantes. Los OADM's son una parte clave en cuanto a las redes ópticas. En los sistemas de transmisión de larga distancia convencionales, se ha puesto énfasis en cuánta capacidad y hasta dónde puede transmitir el sistema. El campo de batalla principal de la aplicación OADM está en MAN (red de área metropolitana), que presenta una gran flexibilidad, fácil actualización y amplificación. Como una plataforma ideal de transporte de servicios múltiples en la aplicación MAN, OADM también permite la señal de multiplexación de diferentes longitudes de onda en diferentes ubicaciones

Hay dos tipos generales de OADM's. La primera generación es un dispositivo fijo que se configura físicamente para extraer una longitud de onda predeterminada mientras se añaden otras. La segunda generación es reconfigurable y capaz de seleccionar dinámicamente que longitudes de onda se añaden y cuales se remueven. Los filtros de película delgada han emergido como la tecnología elegida para los OADM's en los sistemas DWDM metropolitanos actuales porque son menos caros y más estables. En cuanto a la segunda generación de OADM's, se prefieren otras tecnologías tales como las rejillas de fibra sintonizables.

CAPITULO IV. TECNOLOGÍA CWDM

4.1- CWDM

La multiplexación por división aproximada de longitud de onda (CWDM), una tecnología del tipo WDM, se caracteriza por un espacio más ancho entre canales que en la tecnología WDM densa (DWDM, dense wavelength division multiplexing), tal como se define en la Rec. UIT-T G.671. Los sistemas CWDM permiten aplicaciones rentables, gracias a una combinación de láser sin dispositivos de refrigeración, tolerancias de selección de longitudes de onda láser menos exigentes, y filtros pasobanda amplios.

Los sistemas CWDM se pueden utilizar en las redes de transporte metropolitanas y como plataforma integrada para una diversidad de clientes, servicios y protocolos. (Recomendación UIT-T G.694.2, 2003)

CWDM se refiere a la multiplexación por división de longitud de onda gruesa, el cual es un proceso de combinación de múltiples longitudes de onda (múltiples señales) en un solo cable de fibra óptica. Como diferentes longitudes de onda ópticas pueden coexistir en una fibra cable sin ninguna interferencia entre sí, entonces teóricamente el proceso de combinar múltiples señales en un cable solo está limitado por las características espectrales del cable de fibra y el número de longitudes de onda. Sin embargo, en términos prácticos hay un límite a lo que se puede lograr.

En 2002, la UIT estandarizó las longitudes de onda que se pueden usar con CWDM a 18 longitudes de onda de 1270nm a 1610nm con una separación entre canales de 20nm (Recomendación UIT-T G.692, 1998). Por lo tanto, el número máximo de señales que se pueden utilizar en un sistema de fibra CWDM es 18, *ver Ilustración 25*.

En la siguiente tabla se indica el plan de longitudes de onda CWDM en la gama que abarca de 1271 nm a 1611 nm. Se debe utilizar un valor "c" (velocidad de la luz en el vacío) para la conversión entre longitud de onda y frecuencia igual a 2.99792458×10^8 m/s. (Recomendación UIT-T G.694-2, 2003)

Tabla 3 Longitudes de onda centrales nominales

Longitudes de ondas centrales nominales (nm) pata un espaciamento de 20nm
1271
1291
1311
1331
1351
1371
1391
1411
1431
1451
1471
1491
1511
1531
1551
1571
1591
1611

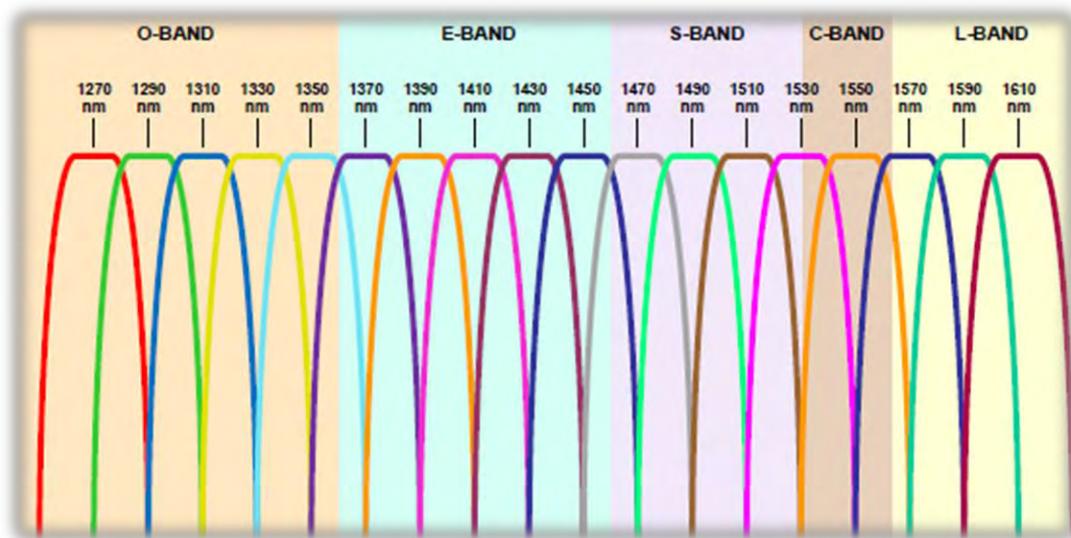


Ilustración 25 Espaciamento entre canales

4.2- Interfaces ópticas en CWDM según Recomendación ITU–G.695

La Recomendación UIT-T G.695 proporciona valores de parámetros ópticos para interfaces de capa física de aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda gruesa (CWDM) con hasta 16 canales y hasta 50 Gbit/s. Las aplicaciones se definen usando dos métodos diferentes, uno usando la interfaz multicanal parámetros y el otro usando parámetros de interfaz de un solo canal. Tanto unidireccional como se especifican aplicaciones bidireccionales. En esta versión de esta Recomendación, un código de aplicación para aplicaciones de caja negra de corta distancia PAM4 50G de 4 canales, que es adecuado para llevando FOIC2.4 (200G dividido en cuatro carriles físicos). (Recommendation ITU-T G.695, 2018)

4.3- Detectores para CWDM

La función básica del receptor óptico es detectar luz y convertirla en señales eléctricas utilizables. Foto diodos P-intrínseco-N (PIN) y fotodiodos avalancha (APD) son los dos comúnmente utilizados en detectores ópticos de sistemas de comunicación óptica.

Foto detectores pueden ser considerados fuentes de corriente que cuando modelan el comportamiento de los dispositivos, con foto detectores PIN teniendo una relación lineal entre el monto de luz de entrada y la corriente de salida. Este parámetro es definido como responsividad.

Los APD por el otro lado son ligeramente diferentes en que ellos tienen relación no lineal entre la entrada de luz y la corriente de salida.

La implicación es que los receptores APD tienen mayor sensibilidad que un receptor PIN en enlaces de telecomunicaciones de alta tasa de bit. Ambos tipos de receptores basados en detector pueden ser encontrados en transceivers ópticos. Se hará enfoque únicamente sobre los aspectos que son relevantes para sistemas CWDM.

4.4- Transceivers para CWDM

CWDM SFP es un tipo de óptico transceptor combinado con tecnología CWDM, es una solución de conexión de red económica y altamente eficiente, ampliamente utilizada en campus, centros de datos y el canal de fibra ethernet gigabit (FC) en red de área metropolitana y otras aplicaciones de red.

Generalmente utilizamos láseres discretos, circuitería de manejo, PIN/APDs, y circuitería de recepción montada en placas para los enlaces de F.O. sin embargo, estas funciones se están volviendo más integradas en módulos. Este más alto grado de integración dio lugar al concepto del transceiver. Estos dispositivos son particularmente útiles cuando se opera en enlaces bidireccionales, debido a premisas de sitio un transmisor también es un receptor.

Los transceivers tienen grandes características y una las más importantes es su modularidad, es decir, la habilidad de conectar los transceivers a circuitos electrónicos para intercambiarlos. Esta modularidad permite separación entre la parte óptica de la parte electrónica del sistema y por lo tanto soportan un diseño de sistema costo-efectivo.

Uno de los requerimientos de esta modularidad es la adopción de estándares comunes para los transceivers. Antes de enfatizar el uso de transceivers para CWDM, nos enfocaremos en los estándares principales para transceivers de 2.5Gb/s y 10Gb/s, los cuales impulsaron la amplia aceptación de estos dispositivos en los sistemas de redes metro y de acceso. Estos dispositivos SFP vienen con un código de colores que los diferencian además de forma más rápida, como se muestra en la *Ilustración 26*.

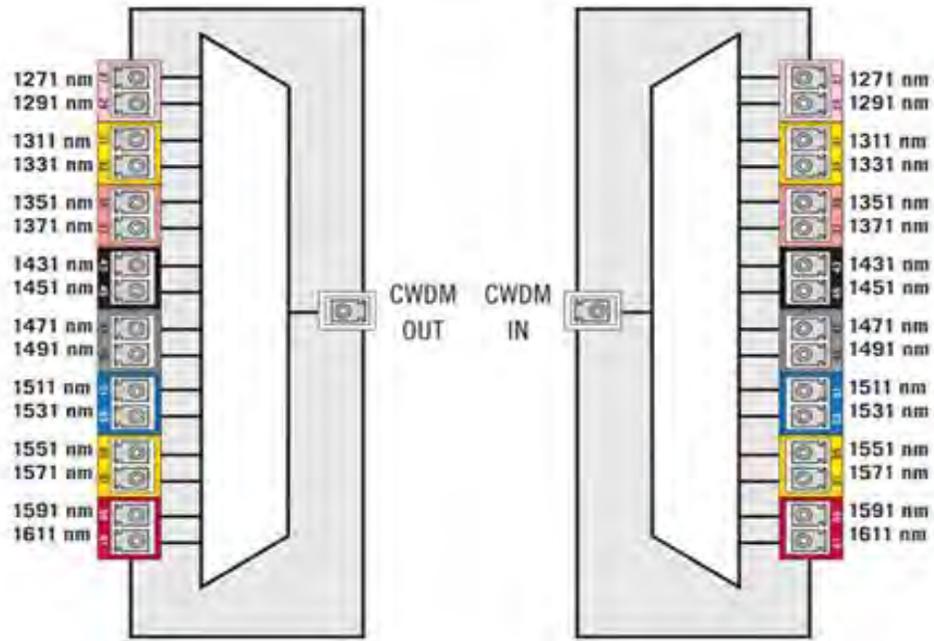


Ilustración 26 CWDM MUX/DEMUX de 16 canales

4.4-1. Funciones de transceiver SFP

El transceiver para fibra óptica trabaja en la capa física, que es la capa más baja en el modelo OSI. Su función es realizar conversión fotoeléctrica. Convierta las señales ópticas en señales eléctricas y convierte las señales eléctricas en señales ópticas, como esta. Véase *Ilustración 27*.



Ilustración 27 Transceiver SFP

4.5- Instrumentos de medición

Las mediciones son importantes en el mantenimiento y diseño de sistemas de fibras ópticas, como lo es en los sistemas electrónicos. Las técnicas de medición convencionales pueden seguirse en el ajuste y prueba de las porciones electrónicas receptor y transmisor de un sistema de fibras ópticas. Las mediciones ópticas requieren de equipos que emitan una prueba especial, pero algunas técnicas simples pueden ser usadas en alguna emergencia, como cortes en la red o envío de para detectar atenuaciones en la fibra.

Por ejemplo, de los casos más prácticos que presentamos en los enlaces de fibra óptica, son los cortes directos a la fibra, daños por roedores, lo cual es complicado detectar donde fue el daño, con el equipo de medición envía trazas que detecta la atenuación y con esto agilizar una reparación.

Hay dos tipos básicos de equipo de medición para fibra óptica:

- Medidor de Potencia óptica.
- Reflectómetro óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR).

4.5-1. Medidor de potencia óptica

El OPM (Optical Power Meter) es un instrumento de medición portátil y fácil de usar, diseñado para redes de fibra óptica, puede ser utilizado para realizar las mediciones de pérdida relativa de gran precisión a diferentes longitudes de onda pre-calibradas.

Destinado para dar solución a las mediciones durante el mantenimiento, instalación y reparación de redes ópticas tanto en campo como en laboratorios.

Entre las características que presenta este equipo, es que opera para SM y MM en las ventanas de 850, 1300, 1310, 1490, 1550, 1625 nm con Potencia de -50 dBm a +25 dBm. Su Precisión es: +/- 0.2 dB o 5%. Un ejemplo de este dispositivo es como se muestra en la *Ilustración 28*, cabe mencionar que existen varios modelos de este equipo.



Ilustración 28 Power meter

4.5-2. Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo

Un reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR), como se muestra en la *Ilustración 29*, es un dispositivo que comprueba la integridad de un cable de fibra óptica y se usa para la construcción, la certificación, el mantenimiento y la resolución de problemas comunicaciones por medio de fibra óptica. Los OTDR portátiles crean una imagen gráfica virtual del cable de fibra óptica para determinar el estado y la capacidad de rendimiento del cable de fibra óptica. Este equipo consta de una fuente de diodo láser, un detector de fotodiodos y un circuito temporizador (o base de tiempo) de alta precisión.

Esta potente herramienta también puede comprobar componentes a lo largo de la ruta del cable, como puntos de conexión, dobleces o empalmes, para analizar la capacidad del cable de principio a fin.

En el uso correcto del equipo es necesario que la herramienta OTDR introduzca un pulso de luz en un extremo del cable de fibra óptica. Los resultados están basados en la señal reflejada que vuelve al mismo puerto OTDR. Parte de la luz transmitida a través del cable se dispersará, y otra parte se reflejará y volverá al OTDR. La dispersión y los reflejos que regresan se miden para recopilar información útil sobre

el cable, como pérdidas y distancias a conectores o fallos. Esto se mide mediante el tiempo que demoran las señales en volver al OTDR.

Un OTDR consta de una fuente de diodo láser, un detector de fotodiodos y un circuito temporizador (o base de tiempo) de alta precisión. El láser emite un pulso de luz con una determinada longitud de onda y este pulso de luz se transmite a lo largo de la fibra sometida a las pruebas. A medida que el pulso de luz se desplaza por la fibra, partes de la luz transmitida se reflejan o refractan, o se retro-dispersan por la fibra hacia el fotodetector del OTDR. La intensidad de esta luz de retorno y el tiempo que esta tarda en volver al detector indican el valor de la pérdida (por inserción y reflexión), el tipo y la ubicación de un evento en el enlace de la fibra.



Ilustración 29 OTDR

4.5-2.1. Tipos de OTDR

Generalmente existen 3 tipos de OTDR, cada uno con diferentes modelos y especificaciones.

- OTDR Manual – diseñado para actividades de trabajo en campo y mantenimiento.
- OTDR fijo – Consiste en Sistemas Remotos de Monitoreo de redes de transporte.

- C- OTDR – Especial para cables submarinos.

4.5-2.2. Especificaciones funcionales

- Tipo de Fibras para medir – monomodo / multimodo.
- Longitudes de onda de prueba- 850, 1310, 1550, 1625nm, etc.
- Rango dinámico (dB)- Pérdida máxima del enlace a medir.
- Precisión de pérdida (dB) en eventos, baja zona muerta y detección solo de eventos reales.
- Para medir redes PON: Detección de splitters en ambos sentidos.
- Módulo para plataforma o compacto portátil.
- Capacidad de almacenamiento (GB).

4.5-2.3. Funciones de un OTDR

El diagnóstico del estado de las fibras ópticas es primordial cuando se tienen varios empalmes y varias conexiones susceptibles de presentar fallos, dentro de las funciones principales se tienen:

- Diagnóstico de las condiciones en que se produce una pérdida mayor de la esperada en un determinado punto.
- Medir la atenuación total de la fibra.
- Mediciones de distancia inestimables cuando surgen necesidades en términos de reparación, solución de problemas o mantenimiento.
- Determinar la distancia a los fallos, los empalmes y las conexiones mediante una presentación gráfica.

CAPÍTULO V. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTO

5.1- Diseño del enlace

En el presente proyecto de tesis se realizará el diseño e implementación de una red CWDM que permita la interconexión entre la red Metro Ethernet de la empresa de telecomunicaciones QualiDigital y un punto de acceso situado a 2 km de distancia, para el monitoreo de una red óptica pasiva con capacidad de Gigabit (GPON), servicios de Internet y fibra hasta la casa o fibra hasta el hogar (FTTH).

Como primer paso, se define la ruta y se inicia el proceso de tendido de la fibra por parte de personal de planta externa. Cabe mencionar que el enlace se implementa de forma aérea. Un ejemplo de enlace aéreo es como se muestra en la siguiente *Ilustración 30*, donde, se conecta desde el site o NOC hasta la oficina donde se gestionan todos los procesos de operación de la empresa.

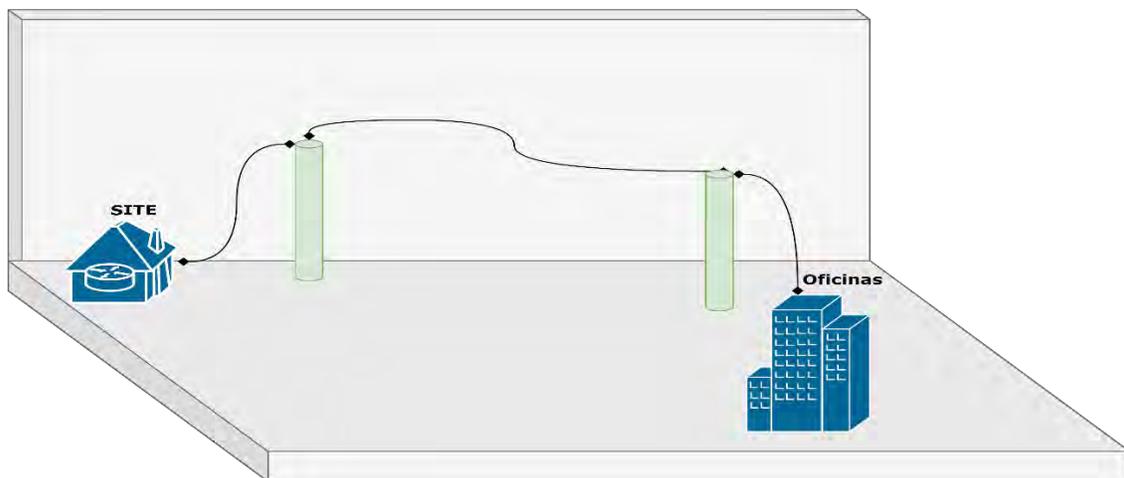


Ilustración 30 Enlace del SITE a oficina

La red CWDM consta de varios dispositivos, un Core Router, conectado mediante Ethernet hacia el primer demarcador, del demarcador se conecta mediante SFP CWDM a través de un Jumper LC/UPC-SC/UPC monomodo a una roseta donde se

conecta el hilo de fibra que lleva el enlace hacia el OADM, donde a partir del OADM sale un par de hilos de fibra (Rx, Tx) que se conectan hacia un Jumper LC/UPC-SC/UPC dúplex monomodo y finalmente llega al segundo demarcador a través de un SFP CWDM. Con este enlace se obtiene el acceso a la red principal, plataformas y servicios en general. La *Ilustración 31* muestra el diagrama de conexión de la red CWDM propuesta.

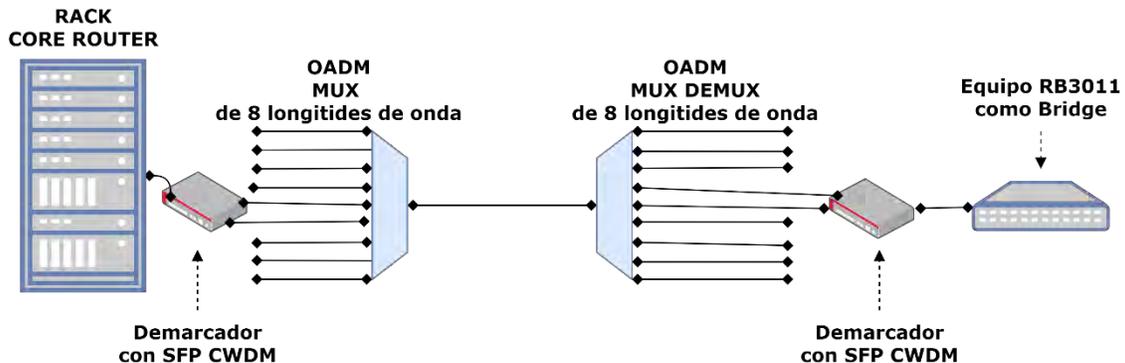


Ilustración 31 Diagrama de conexión de la red CWDM

5.1-1. Dispositivos

- El demarcador Raisecom RAX700 se instaló en las oficinas de monitoreo y gestión de operaciones, ver *Ilustración 32*.



Ilustración 32 Demarcador Raisecom instalado en rack de oficinas

- El demarcador Raisecom RAX701 se instaló en el NOC o site principal, ver *Ilustración 33*.



Ilustración 33 Demarcador Raisecom instalado en NOC/site principal

- El OADM CWDM MUX se instaló en el NOC principal, ver *Ilustración 34*.



Ilustración 34 multiplexor del NOC

- El OADM CWDM MUX/DEMUX, se instaló en la caja de empalme y derivación óptico; se realizaron las fusiones correspondientes y se colocaron en la trayectoria aérea, ver *Ilustración 35* y *66*.

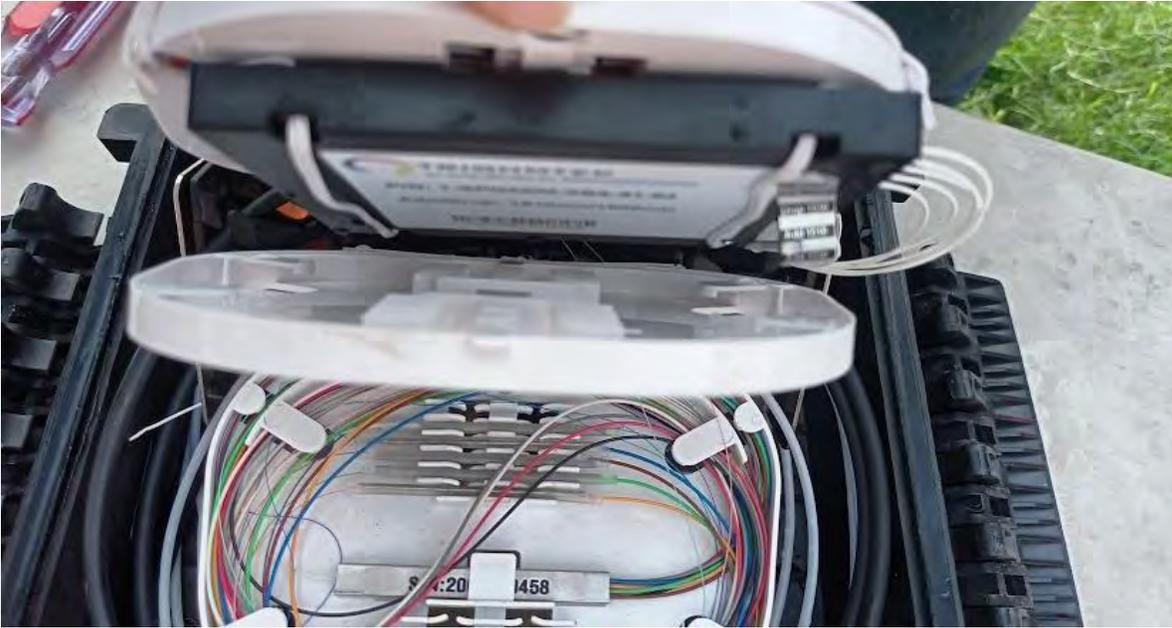


Ilustración 35 Dispositivo OADM CWDM con 8 longitudes de onda en caja de empalme



Ilustración 36 Dispositivo OADM CWDM con 8 longitudes de onda en caja de empalme (vista 2)

- La *Ilustración 37* muestra el Traincerver SFP CWDM CWDM (10km, 1310nm, 1550nm) utilizado en la red.

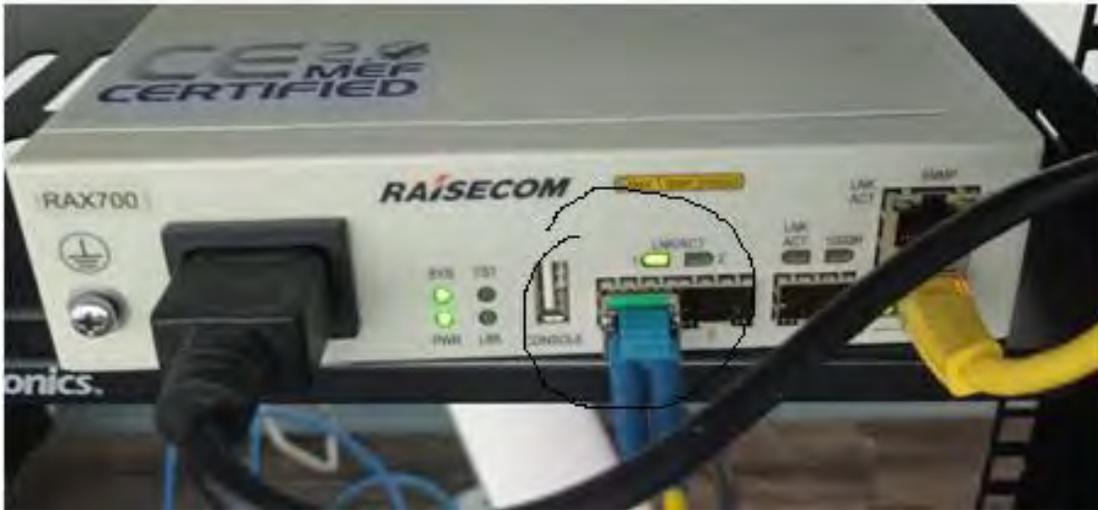


Ilustración 37 SFP CWDM conectado al demarcador

5.1-2. Materiales para enlace

- Cabo óptico 12 hilos monomodo G-652D: se utilizó un kilómetro y medio aproximadamente. En la *Ilustración 38* podemos ver las fibras dentro del recubrimiento, además de mencionar que las fibras vienen con un código de colores.

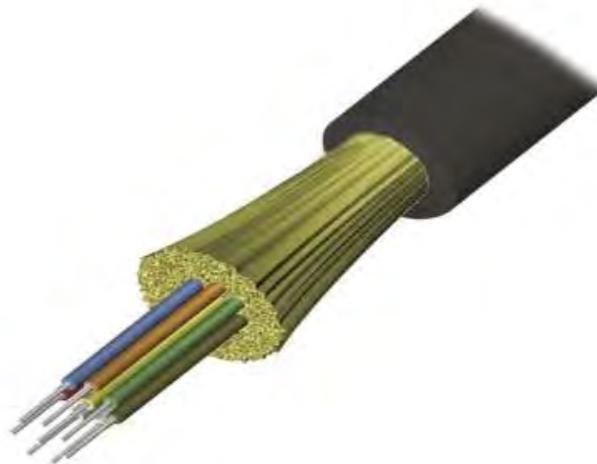


Ilustración 38 Vista de un corte de fibra óptica

- Jumper LC/UPC-SC/UPC monomodo 9/125 riser, de 2 metros: se utiliza este jumper ya que los SFP son de entrada LC/UPC, mientras que en la roseta se utiliza entrada SC/UPC.



Ilustración 39 Jumper LC/UPC-SC/UPC

- Roseta óptica: se conecta el jumper de la *Ilustración 39* para enlazar al SFP del demarcador.



Ilustración 40 Roseta conectada con el jumper

- Caja de empalme óptico: tienen la función de unir mediante la fusión de fibra, la acometida vertical con la acometida horizontal, hasta llegar a la vivienda u oficinas. En la *Ilustración 41* se visualiza una caja de empalme y derivación óptica.



Ilustración 41 Caja de empalme y derivación óptica

5.2- Implementación

La implementación se inicia con el análisis de la planimetría que va desde el trabajo de tendido de la fibra óptica hasta el análisis de las potencias enviadas/recibidas en incluyendo la validación de la velocidad del ancho de banda.

5.2-1. Tendido de fibra óptica

El proyecto requiere personal técnico de planta externa capacitado para el trabajo de fibra óptica y montaje de cajas de derivación como en la *Ilustración 42*. Se implementa tendido del carrete de fibra óptica que en el término de operaciones internas de la organización se conoce como “Cabo óptico G-652D de 12 hilos”.

El enlace requiere tendido aéreo de acuerdo con la planimetría, sobre los postes de CFE (*ver Ilustración 43*) con sus respectivos permisos, se utiliza material de

construcción de redes de fibra óptica, desde herrajes tipo D, herraje tangente y tipo J, preformados, brazos de extensión y de tensión, guarda cabo, fleje, entre otros consumibles, para fines de dejar el cable en condiciones donde no afecte ni entorpezca el trabajo de otras cableras, ver *Ilustración 44*.



Ilustración 42 Colocación de cajas de empalme



Ilustración 43 Flejando la fibra



Ilustración 44 Fibra optica ya colocada

5.2-2. Instalación de demultiplexor

El demultiplexor (DEMUX) se coloca en una caja de derivación al exterior, como se muestra en la *Ilustración 45*, donde se funcionan los hilos correspondientes para dar paso a la habilitación del enlace. Este dispositivo requiere de una caja que no permita el acceso de la humedad ya que el DEMUX es sensible a la humedad. Cabe destacar que en el proyecto no se contempla utilizar los demás canales de CWDM por lo que se cortan los cables para evitar que alguien más se conecte, debido a que es exclusivo para monitoreo de servicios de la organización.



Ilustración 45 DEMUX colocado en caja de derivación

5.2-3. Validación de potencia

Se envía traza con el OTDR para descartar atenuaciones en el enlace. Con este ejercicio se busca analizar y validar el enlace que no tenga alguna atenuación en el trayecto, con el fin de evitar futuras caídas del enlace. Es importante mencionar que durante el manejo de la fibra óptica o después de su instalación se pueden presentar torceduras o fracturas, las cuales provocan atenuaciones. En la *Ilustración 46* podemos observar la distancia real hasta el NOC, un total de 2.03 km, en el cual se debe considerar 1km de bobina de medición.



Ilustración 46 Lectura de OTDR

5.2-4. Configuración de demarcadores

Los demarcadores tienen una configuración básica, lo cual implica configuración de VLAN's de forma troncal en los puertos correspondientes. En el siguiente script se muestra la configuración general de estos equipos, visualizados con el comando "show runnig-config" desde consola.

5.2-4.1. Configuración del demarcador Raisecom, de la serie RAX700

```
RAX701#show running-config
System current configuration:
!command in view_mode
!
!command in config_mode first-step
create vlan 1500,1510 active
ptp mode e2etransparent
!
!command in aclmap_mode
!
!command in qos mapping mode
!
!command in wred mode
!
!command in enable_mode
enable encrypt-password UXa81/RJFAzKwpC0qvy5VA==
user name raisecom encrypt-password UXa81/RJFAzKwpC0qvy5VA==
privilege 15
hostname RAX701
!
!command in region_mode
!
!command in ip igmp profile mode
!
!command in service_mode
!
!command in mpls_bidirection_ingress_mode
!
```

```
!command in mpls_bidirection_transit_mode
!
!command in mpls_bidirection_egress_mode
!
!command in mpls_tunnelif_mode
!
!command in mpls_tunnel_policy_mode
!
!command in l2cp profile mode
!
!command in aggregation_mode
!
!command in port_mode
!
interface nni 1
switchport trunk allowed vlan 1500,1510
switchport mode trunk
switchport protect
mtu 9600
!
interface nni 2
switchport protect
mtu 9600
!
interface uni 1
switchport access vlan 1510
no switchport protect
mtu 9600
!
```

```
!command in vlan configuration mode
!
!command in ip interface mode
!
interface ip 0
ip vlan 1500
ip address 172.16.15.53 255.255.255.0
!
!command in loopback interface mode
!
!command in traffic policer mode
!
!command in cmap_mode
!
!command in pmap_mode
!
!command in pmap_vlan_mode
!
!command in pmap_cos_mode
!
!command in bandwidth profile mode
!
!command in hcos_mode
!
!command in hvlan_mode
!
!command in mpls_expath_mode
!
!command in keychain_mode
```

```
!  
!command in tdm port mode  
!  
!command in iccp mode  
!  
!command in config_mode  
!  
!command in mpls_qos_mode  
!  
!command in clkmgmt_mode  
!  
!command in cespw mode  
!  
!command in stm1 port mode  
!  
!command in stm4 port mode  
!  
!command in mefpm mode  
!  
!command in rcsam mode  
!  
!command in mefservice_mode  
sdp nni 1  
!  
!command in mefservice l2cp profile mode  
!  
!command in mefservice cos profile mode  
!  
!command in mefservice threshold profile mode
```

```
!  
!command in mefservice flow profile mode  
!  
!command in mefservice bandwidth profile mode  
!  
!command in mefservice interface mode  
!  
!command in mefservice evc mode
```

5.2-5. Pruebas de conectividad

Para validar la conectividad hacia el Core Router, se realizó un ping hacia la IP principal como, en la *Ilustración 47* se muestra que el ping realizado es exitoso.

```
Haciendo ping a 192.168.45.1 con 32 bytes de datos:  
Respuesta desde 192.168.45.1: bytes=32 tiempo<1m TTL=64  
  
Estadísticas de ping para 192.168.45.1:  
  Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0  
  (0% perdidos),  
  Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:  
  Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms
```

Ilustración 47 Ping a IP principal

También se realizaron mediciones con el OTDR, para descartar alguna atenuación en el enlace, como se puede ver en la *Ilustración 48*.



Ilustración 48 Traza de OTDR validando la distancia y ausencia de pérdidas

Se realizó la comprobación de acceso a las plataformas de gestión y administración operativa de la empresa, como son:

- Acceso a Radius, nos permite tener acceso a cada ONU (Optical Network Unit) o unidad de terminal óptica del cliente, ver *Ilustración 49*.

Cientes Kuali Digital

Desconexiones

Usuario	Paquete	Opciones
8294-1	T50Mbps	
8295-1	RT15Mbps	
8289-1	RT15Mbps	
5491-1	T50Mbps	
8287-1	RT15Mbps	
1502-1	R20Mbps	
8281-1	P40Mbps	
5725-1	P40Mbps	
5534-1	P100Mbps	
6240-1	P40Mbps	
8283-2	P40Mbps	

Ilustración 49 Acceso a Radius

- Acceso a la plataforma de gestión de los servicios **SOFTV**, donde, se realizan altas y bajas de equipos y servicios, así como la gestión de almacén, ver *Ilustración 50*.

Kuali Digital KUALIDIGITAL Somos tu Internet

mishz
Luis
Soy mishz

Kuali Digital
Somos tu Internet

BIENVENIDO A KUALIDIGITAL

- Catálogos
- Procesos
 - Atención Telefónica
 - Devolución de Aparatos
 - Reset de Aparatos
 - Cambio de servicio
 - Reportes de Fallas
 - Reportes de Mantenimiento
 - Recontratación
 - Ordenes Servicio
 - Agenda
- Reportes

Ilustración 50 Plataforma SOFTV

- Acceso a la plataforma Almacén, donde podemos observar la gestión de materiales de instalación FTTH y construcción de red. En esta plataforma se cargan los materiales por proyecto y por técnico en servicio, ver *Ilustración 51*.



Ilustración 51 Plataforma de Almacén

- Acceso a gráficas de monitoreo de la red, tales como consumo de datos (ver *Ilustración 52*), caídas debido a problemas con algún ISP (ver *Ilustración 53*), entre otras.

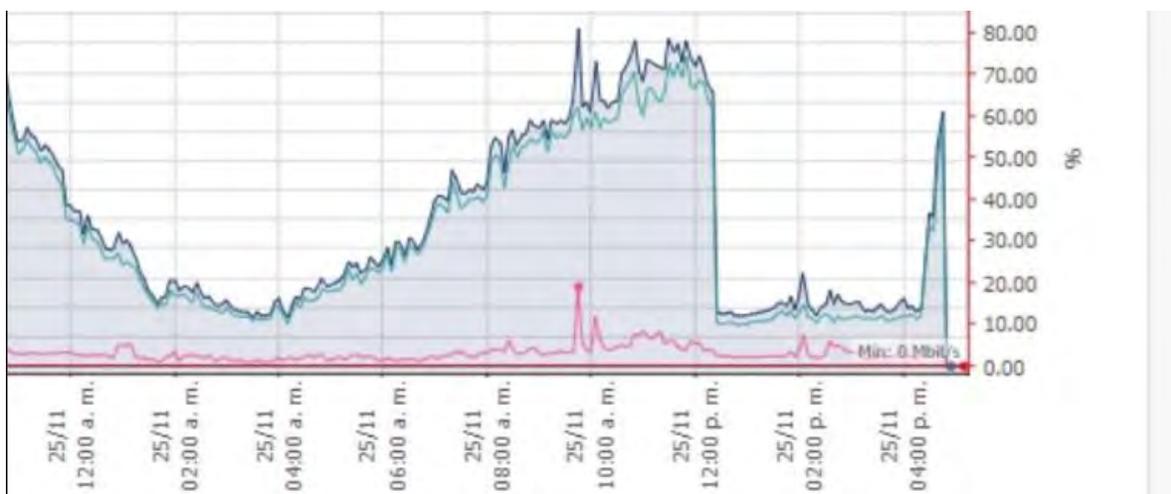


Ilustración 52 Gráfica de consumo de datos



Ilustración 53 PRTG network monitor

CAPITULO VI. CONCLUSIÓN

El proyecto se finaliza con el enlace funcionando con las principales plataformas de monitoreo de servicios FTTH a través de una red GPON. Dentro de las plataformas de monitoreo se utiliza PRTG Network Monitor, el cual permite supervisar los servicios ofrecidos al usuario final. Además de acceso a las plataformas que están cegadas en la red LAN matriz en Hidalgo, lo cual se interconecta por VPN (Virtual Private Network) hasta el Core Router ubicado en el SITE principal.

Con la tecnología CWDM se logra tener acceso a la red principal y por tanto a todas las plataformas de gestión administrativa y operativa de la red interna, donde en cada plataforma se gestiona el material de almacén, se gestionan los pagos y cobros, se gestionan los servicios y clientes en general, entre muchas otras operaciones que demandan el acceso a la red interna.

CWDM nos da la apertura a nuevos retos dentro de las telecomunicaciones ya que genera nuevas tendencias de comunicaciones ópticas, que ya han existido desde hace años, pero que en nuestra región es poco conocida, debido al lento proceso de migración de las redes de comunicación con enlaces de cobre a las redes de comunicación con enlaces de fibra óptica.

BIBLIOGRAFÍA

- AGRAWAL, G. P. (2002). *Fiber-Optic Communication Systems*. Estados Unidos: WILEY - INTERSCIENCE.
- Crisp, J. (2001). *Introduction to Fiber Optics* (Vol. Second edition 2001). Boston, Estados Unidos: Great Britain by Biddles Ltd.
- Dimes, T. (2015). *Conceptos básicos de Scrum: Desarrollo de software Agile y manejo de proyectos*. Babelcube Inc.
- Iquise, B. D. (2014). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN CON TECNOLOGÍA CWDM PARA INTERCONECTAR SERVICIOS DE DOS CENTROS DE DATOS DEL REGISTRO NACIONAL DE IDENTIFICACIÓN Y ESTADO CIVIL. *Tesis de licenciatura*. UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DEL CONO SUR DE LIMA (UNTECS), Lima, Perú.
- ITU-T Recommendation G.694.2. (2003). *Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid*. Geneva: The International Telecommunication Union (ITU).
- Jiménez, I. L. (1997). SISTEMAS DE COMUNICACION A TRAVES DE FIBRA OPTICA. *Tesis de maestría*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN, San Nicolár de las Garzas, Nuevo Leon, México.
- Malak, M., Morshed, A., Hassan, K., Bourouina, T., Anis, H., & Khalil, D. (2010). Design of CWDM multiplexers based on series coupled ring resonators: analysis, potential and prospects on MEMS fabrication technologies. *Microsyst Technol*, 1139–1156.
- Morales, J. A. (2009, Junio). CWDM TECNOLOGÍA Y APLICACIONES. *Tesis de licenciatura*. Universidad de San Carlos, San Carlos, Guatemala.
- Peiris, S., Madamopoulos, N., Antoniadis, N., Richards, D., & Dorsinville, R. (2014). Performance Analysis of a Hybrid Raman Optical Parametric Amplifier in the O- and E-Bands for CWDM PONs. *Photonics*, 473-487.
- R. I.-T. (2016, Noviembre 13). SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES. Estados Unidos. Retrieved from www.itu.int: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-I/es>
- Rashed, A., Tabbour, M., & El-assar, M. (2018). 20 Gb/s Hybrid CWDM/DWDM for Extended Reach Fiber to the Home Network Applications. *Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect. A Phys. Sci.*, 1-10.
- Recomendación UIT-T G.692. (1998, Octubre). SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES. Estados Unidos.
- Recomendación UIT-T G.694.2. (2003, 12 14). SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES. Estados Unidos.

- Recomendación UIT-T G.694-2. (2003, Diciembre 14). SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES. Estados Unidos. Retrieved from <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.2-200312-1/es>
- Recomendación UIT-T, G. (2006, 12). SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES. Estados Unidos.
- Recommendation ITU-T G.695. (2018, Julio 22). SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS. Estados Unidos.
- Sanchez, R. W. (2005). ESTUDIO DE LA RED ÓPTICA CWDM (COARSE WAVELENGTH DIVISIÓN MULTIPLEXING) Y PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE DISEÑO. *Tesis de licenciatura*. Escuela de Ingeniería de Quito, Ecuador, Quito, Ecuador.
- Serna M., E. &. (2011). Prueba del software: más que una fase en el ciclo de vida. *Revista de Ingeniería*, 35, 34-40. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121022763005>
- Zhao , Z., Li , Z., Niu, J., Zhang, G., Chen, H., Fu , X., & Yang, L. (2022). Eight-Channel LAN WDM (De)Multiplexer Based on Cascaded Mach–Zehnder Interferometer on SOI for 400GbE. *Photonics*, 1-9.